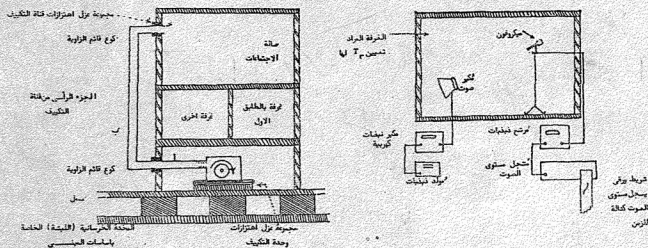


مقدمة
 لاساسيات علم
 صوتيات المباني والتحكم في الضوضاء



تأليف

دكتور عبد الرحمن فكري
أستاذ الفيزياء النووية والطاقة العالية
كلية الهندسة - جامعة عين شمس

جميع الحقوق محفوظة للمؤلف

1950

اهداءات ١٩٩٨

مؤسسة الاهرام للنشر والتوزيع
القاهرة

مقدمة

لأساسيات علم
صوتيات المباني والتحكم في الضوضاء
مع أمثلة محلولة

تأليف

دكتور عبد الرحمن فكرى
أستاذ الفيزياء النووية والطاقة العالية
كلية الهندسة - جامعة عين شمس

جميع الحقوق محفوظة للمؤلف

١٩٩٥

دار الحكيم للطباعة

مقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم وبه نستعين

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على سيد المرسلين

واستغفره سبحانه وتعالى واتوب اليه

نواه الكتاب الحالي كانت مجموعة المحاضرات التي استمعت بالقاءها على طلبة
وطالبات شعب " ميكانيكا - مدني - كهرباء " واحيانا شعبة " عمارة " بكلية
الهندسة جامعة عين شمس منذ أوائل الستينيات .

والكتاب مقسم الى سبعة ابواب : الأول منها قصد به عرض لبعض المفاهيم
العلمية المرتبطة بالاهتزازات وانبعث الطاقة الصوتية . والباب الثاني يستكمل عرض
المفاهيم الخاصة بشدة الصوت ومستوياته . والباب
يتناول سُبُل
التعامل مع الضوضاء التي تقابل المرء خارج المباني وفي الطريق العام . اما الباب
الخامس فيناقش اساسا اهم صفة تميز اى غرفة من ناحية صلاحيتها " صوتيا " وهى
مايعرف بزمان الارتداد .

وفى الباب السادس يتم عرض موجز للطرق التي تتبع لمواجهة الضوضاء الصادرة
من مجموعات التكيف داخل المباني .

وينتهي الكتاب بمجموعة مشاهدات تجريبية توضح – الى حد ما – بعض الآثار
الجانبية التي تنتج من التعرض لمستويات ضواء متباينة .

وفيما عدا الباب السابع هذا فان الكتاب يحتوى على مجموعة امثلة محلولة متنوعة
قُصد بها تعميق المفهوم العلمى والتطبيقي لبعض النقاط التي تم مناقشتها .

ولقد استفدت كثيرا من المراجع القيمة الزاخرة بها مكتبة كلية الهندسة جامعة
عين شمس وخصوصا المجموعة المشار الى بعضها فى القائمة التى وردت ضمن الكتاب .

والله سبحانه وتعالى أسأل ان يجعل من هذا الكتاب الفائدة العلمية والتطبيقية
المرجوة .

عبد الرحمن فكرى

١٢ ربيع اول سنة ١٤١٥ هـ

٢٠ أغسطس سنة ١٩٩٤ م

فهرس

رقم الصفحة

مقدمة

الباب الاول (موجز لبعضى اساسيات علم صوتيات المباني وصوتيات

- | | |
|----|--|
| ١ | البيئة المحيطة بها) |
| ٣ | بعض الخصائص الفيزيائية للاهتزازات المرتبطة بانتشار الصوت |
| | ماذا يحدث للطاقة الصوتية عند انتقالها من موضع المصدر الى |
| ١١ | موضع المستقبل . |
| ١٢ | مثال محلول (١-١) - حساب معامل المتانة لزنبرك . |
| | مثال محلول (٢-١) - حساب الزمن الدورى لحركة توافقية |
| ١٨ | بسيطة . |
| | مثال محلول (٣-١) - العلاقة بين الحركة التوافقية |
| ١٩ | البسيطة والمنحنى الجيبى . |
| | مثال محلول (٤-١) - حساب سرعة الصوت فى مادة صلبة، |
| ١٩ | سائلة او غازية . |
| | مثال محلول (٥-١) - العلاقة بين متوسط طاقة الوضع |
| ٢١ | ومتوسط طاقة الحركة لجسم يتحرك حركة توافقية بسيطة . |

رقم الصفحة

الباب الثاني (العلاقة بين شدة الصوت ومستويات شدة الصوت

٢٣

وضغطه)

٢٢

شدة الصوت

مثال محلول (١-٢) - العلاقة بين سعة الاهتزاز وشدة

الصوت عند عتبة القدرة السمعية وكذلك عند عتبة الشعور

٢٦

بتألم الجهاز السمعى •

٢٨

العلاقة بين شدة الصوت وضغط الصوت •

مثال محلول (٢-٢) - حساب الفائدة أو الفقد - بالديسيبل

٢٣

المقابلة لتغير فى القدرة الصوتية •

٣٤

مثال محلول (٣-٢) - العلاقة بين مراحل التكبير والفائدة

٣٥

مثال محلول (٤-٢) - العلاقة بين الكفاءة والفائدة

مثال محلول (٥-٢) - حساب المستوى الكلى للصوت الناتج

٣٧

عن عدة مصادر مجتمعة •

٤٠

الباب الثالث (العوامل التى تؤثر الى تباين الاصوات عن بعضها)

٤١

حدة الصوت أو مقام الصوت •

٤٣

نوعية الصوت •

٤٣

علو الصوت الفيزيائى

رقم الصفحة

- ٤٧ العلو الذاتي للصوت .
- مثال محلول (١-٣) - حساب العلو الذاتي الكلي لأكثر من
- ٥٠ مصدر .
- مثال محلول (٢-٣) - العلاقة بين شدة الصوت والعلو
- ٥٣ الذاتي للصوت .
- مثال محلول (٣-٣ ، ٤-٣) - الساعات المسموح بها للتعرض
- ٥٤ لمستويات ضوضاء متباينة .
- الباب الرابع (الضوضاء التي منشؤها خارج المبنى وطرق التحكم فيها
- ٥٨ بالطريق العام)
- ٥٩ التحكم في الضوضاء عند المصدر البعد بينه وبين المستمع
- مثال محلول (١-٤) ومثال محلول (٢-٤) - الضوضاء
- ٦٤ الصادرة من سيارة وتغير مستواها بتغير البعد عنها .
- مثال محلول (٣-٤) - الضوضاء الصادرة من قطار السكك
- ٦٦ الحديدية .
- ٧٠ جدول يوضح امتصاص الطاقة الصوتية بفعل جزيئات الهواء
- التحكم في الضوضاء في الطريق العام باستخدام حاجز بين المصدر
- ٧١ والمستمع .

رقم الصفحة

٧٢	معامل نفاذية الطاقة الصوتية ومعامل خفنى الطاقة الصوتية •
	مثال محلول (٤-٤) — حساب معامل خفنى الضوضاء
٧٤	لنوعيات متعددة من الجدران •
٧٦	تعيين معامل خفنى الضوضاء بطريقة عملية •
٨١	مثال (٥-٤) — حساب معامل خفنى الضوضاء لحاجز مُركَّب
٨٢	الطريقة الحسابية لتعيين معامل خفنى الضوضاء •
	مثال محلول (٦-٤) — دراسة تأثير سور على مستوًى
٨٥	الضوضاء المادرة من سيارة •
٩٠	جدول لقيم معامل خفنى الضوضاء لبعنى النوعيات من الجدران
٩٢	مثال (٧-٤) — حساب معامل خفنى الضوضاء لحاجز مركب
٩٤	الباب الخامس (التحكم فى مستويات الضوضاء داخل المباني)
١٠٢	زمن ارتداد الصوت لغرفة او حيز
١٠٤	استنتاج معادلة سابين
١٠٨	تعيين زمن الارتداد لغرفة عطليا
	تعيين معامل امتصاص الطاقة الصوتية للمواد المستخدمة فى
١١٢	المعالجات الصوتية •

رقم الصفحة

- ١١٤ جدول لقيم معامل امتصاص الطاقة لنوعيات مختلفة من المواد
مثال (١-٥) - حساب زمن الارتداد لغرفة نتيجة تجربة
لتعيينه .
- ١١٥ مثال محلول (٢-٥) ومثال محلول (٣-٥) - تأثير
الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية داخل غرفة على زمن الارتداد .
- ١١٦ مستوى الصوت داخل غرفة دون توقف المصدر .
- ١١٩ المعالجة الصوتية لغرفة بتغير الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية
بها .
- ١٢٠ مثال محلول (٣-٥) ومثال محلول (٤-٥) - دراسة
تأثير المعالجة الصوتية لغرفة .
- ١٢٤ مثال محلول (٥-٥) - دراسة تأثير قرب مصدر الصوت مسنن
سطح عاكس على مستوى الصوت الناتج .
- ١٢٩ التحكم في مستويات الصوت في الغرف المنفصلة عن بعضها بحواجز
جزئية .
- ١٣٠ مثال محلول (٦-٥) - العلاقة بين رتبة نفاذ الصوت ونوعية
الخصوصية ومستوى الخلفية الصوتية .
- ١٣٨

رقم الصفحة

الباب السادس (التحكم فى - الضوضاء الصادرة من أجهزة التكييف -

- ١٤١ (والتهوية)
١٤٢ الضوضاء المتولدة من الحركة الذنبية واهتزاز الاجسام
١٤٦ الضوضاء الصادرة من مراوح وحدات التكييف (او مراوح التهوية)
١٥٠ الضوضاء الصادرة من الصطحات المتهترة
١٥١ الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف
١٦٢ امثلة محلولة من (١-٦) الى (٦-٦)

الباب السابع (موجز لبعض نتائج المشاهدات التى اوضحت الآثار

- ١٩٧ الجانبية للضوضاء على صحة المستمع)

قائمة المراجع

٢١٦ تفصيلات

- ٢١٦ تفصيل (١) ملخص لبعض المشاكل الصوتية بغرض حلها

تفصيل (٢) مستويات الضوضاء التى تصدر من المركبات على اختلاف

- ٢٢٢ انواعها وبعض الآلات •

- ٢٢٤ تفصيل (٣) متوسط الخفض نتيجة وجود حاجز •

الباب الأول

موجز لبعض أساسيات علم صوتيات المباني

وصوتيات البيئة المحيطة بها

علم صوتيات المباني والبيئة المحيطة بها يمكن اعتباره أحد فروع علم الصوت، والذي تطور حديثاً بصورة كبيرة. نتيجة للتغيرات التي حدثت في أسلوب المعيشة والحياة اليومية، خصوصاً في المدن الكبيرة، وما صاحب ذلك من تطور لطرق النقل والمواصلات التي تربط بينها • وكذلك الطفرة العظيمة في التقدم التكنولوجي الذي نعيشه • فقد واکب ذلك التقدم تواجد العديد من مصادر الازعاج الصوتي الواجب التصدي له كجزء من البرنامج العام للتصدي لملوثات البيئة • ويعطى الجدول التالي قائمة تلخص العديد من مصادر الضوضاء الرئيسية التي تؤثر على " منسوب " الهدوء في البيئة •

جدول (١ - ١)

سلسل	أوجه النشاط في البيئة	أمثلة لمصادر الازعاج
١	النقل والمواصلات	الطائرات - القطارات - عربات الشحن - الأوتوبيسات - السيارات الخاصة - الموتوسيكلات .
٢	أنشطة البناء والتعمير	البنشات - البُلْدُوزيرات - آلات شق الطرق والأنفاق - خلطات الخرسانة - آلات النشر - آلات الهدم - عربات النقل الخاصة بهذه الأنشطة - مجموعات التكيف من تبريد وتدفئة وتهوية داخل وخارج المباني والطرق .
٣	آلات الكهرباء	المراوح - آلات ضغط الهواء - الموتورات - آلات الضخ - المحولات الكهربائية - التلفزيون والراديو .
٤	الصناعة	الورش والمصانع - عند الحانجام - الأبراج الخاصة بأعمال التهوية - تصريف العوادم .
٥	أنشطة رياضية وادوات تسلية	عربات السباق - آلات الصيد - آلات الموسيقى وآلات التكبير الانعاشي .

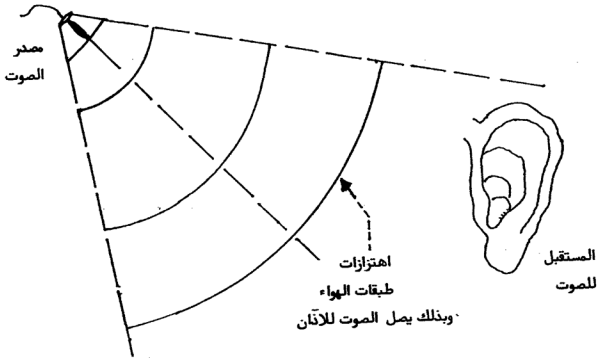
وباعتبار أن الضوضاء (Noise) هي أى صوت غير مرغوب فيه، فإن جميع مصادرها، المُنوّه عن بعضها فى الجدول (١-١)، تتميز بخاصية مشتركة مع أى مصدر صوت وهي أن أى منها عبارة عن جسم يتصف بنوع أو أكثر من الحركات الاهتزازية (Vibrations or Vibratory motion) مثل حركة أوراق الشجر وسط الرياح أو حركة أمواج البحر ... الخ . وشكل (١-١) يلخص هذه الحقيقة .

بعض الخصائص الفيزيائية للاهتزازات المرتبطة بانتشار الصوت :

نعلم ان جزيئات المادة - صلبة - سائلة - غازية - تتحرك طبيعيا حول مراكز موضعية نتيجة للاحتواء الحرارى الطبيعى للمادة . وعندما تتعرض المادة لحركة اهتزازية دخيلة فان كل منها يكسب إزاحة، تزداد وتتقوى قيمتها نتيجة لموضعه فى التركيب البنائى للمادة . وهذا يؤدي الى ظهور قوى مرونة داخلية تحاول إرجاع كل منها الى حالته الطبيعية . وأبسط صورة لقوة المرونة F فى مثل هذه الحالة هي ما يُعبر عنه بالتعبير الرياضى الذى يوضح انها تتناسب طرديا مع الإزاحة y التى يمانئها الجزى* :

$$F = -k \cdot y \quad (نُبُوْتَن) \quad (1-1)$$

حيث معامل المنة k للمادة هو ثابت التناسب وقد أُضيفت الإشارة السالبة



شكل (١-١)

جزء من الطاقة الصوتية الصادرة من المنبع يُستنفذ في تحريك طبقات الهواء (جزيئاته) حركة اهتزازية وبالتالي تنتقل الحركة الاهتزازية لغشاء طبلة الأذن وهي أول مرحلة لاثارة حاسة السمع .

لتوضع ان F دائما تتجه بعيدا عن مركز الوضع الطبيعي للجزء (من الامثلة الشائعة حولنا والتي تتأثر تقريبا بمثل هذا النموذج من القوى حركة " يايــــــــــــــــات" سيارات الركوب وما شابهها - وما يصاحب ذلك من انبعاث ضوضاء تشارك في الضوضاء الكلية التي تصدر من هذه الاجسام اثناء تحركها على الطريق العام حولنا) .

وبما أن القوة تساوى حاصل ضرب كتلة الجسم m المتحرك تحت تأثير هذه القوة في عجلة الحركة الناتجة (d^2y/dt^2) إذا :

$$\frac{d^2y}{dt^2} = - \frac{F}{m} = - \frac{k}{m} \cdot y = - \omega^2 \cdot y \quad (1-2)$$

حيث نلاحظ ان الثابت أوميغا ω وحداته عبارة عن :

$$\frac{1}{\text{ثانية}} = \frac{\frac{1}{4} \text{ نيوتن} \cdot \text{متر}^{-1}}{\text{كجم}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\text{وحدات } k}{\text{وحدات } m} \right) = \omega$$

وهي نفس وحدات السرعة الزاوية ولذلك فان ω هنا تمثل السرعة الزاوية المرتبطة بالحركة الاهتزازية (التوافقية البسيطة) التي يتحركها الجسم تحت تأثير القوة F (مثال بسيط آخر هو حركة أحد اوتار آلة " العود" أو آلة " البيانو " تحسبت تأثير " ضرب " الأصبع) .

ونتيجة تزاوج مثل هذه الحركات الاهتزازية مع خصائص العرونة للمواد فان هذه الحركات الاهتزازية تنتقل من منطقة بالمادة الى ما يلاصقها من مناطق اخــــــــــــــــــــرى

وبذلك تنتقل الطاقة عَبرها على هيئة موجات " طولية " وهى ما تعنيه الطاقة الصوتية أو ببساطة " الصوت " أو " الضوضاء " اذا كان صوتا غير مرغوب فيه .

وبعض ما تتميز به الموجات الصوتية مايلى :

١ - لها تردد f مداه بالنسبة للأذن البشرية العادية يبدأ عند ١٦ ذبذبة فى الثانية (أى " هيرتز ") وينتهى عند ٢٠ ألف هيرتز . أما الموجات خارج هذا المدى فلا تستطيع الأذن البشرية فى المعتاد ان تميزها كاحساس سمعى (Hearing Sensation) . وتُعرف الموجات ذات f أقل من ١٦ هيرتز بالموجات " تحت السمعية " Infrasonic " أما اذا كان ترددها اكبر من ٢٠ كيلو هيرتز فتُعرف بالموجات " فوق الصوتية " Ultrasonic " وهى الشائع استخدامها فى مجالات الفحوص الطبية .

٢ - تنتشر هذه الموجات خلال الوسط الناقل لطاقتها (هواء - أبنية - سوائىل الخ) فى نفس اتجاه الحركة الذبذبية لجزيئات ذلك الوسط وهذا هو السبب فى تسميتها موجات طولية (Longitudinal Waves) ويمكن التعبير عنها رياضيا على النحو التالى :

$$y = A \sin \left[2 \pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right] = A \sin \phi \quad (1-3)$$

أو :

$$y = A \cos \left[2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) \right] = A \cos \phi$$

حيث :

y = إزاحة أي من جزيئات الوسط • وأقصى قيمة لها A هي

" السعة " Amplitude

x = إحداثي الموضع لهذا الجزيء •

t = إحداثي الزمن •

$T = \frac{1}{f}$ = الزمن الدوري للحركة الدورية لجزيء الوسط والتردد f

يقابل تردد الموجات الصوتية المصاحبة لتلك الاهتزازات •

λ = الطول الموجي لموجات الصوت ويعنى به المسافة " $\lambda = x$ "

بين جزيئين متتاليين على خط انتشار الطاقة الصوتية يتميزان بأن لهما

نفس " الطور " الذى تعبر عنه " زاوية الطور " ϕ • وكخاصية

عامة لأي حركة موجية فإن $v = \lambda \cdot f = \lambda / T$

حيث v هنا سرعة الصوت فى الوسط الذى نتحدث عنه •

وكما هو معروف فإنه أثناء مرور الطاقة الصوتية بين المصدر والمستقبل فإنه لا يحدث

حركة انتقالية لجزيئات الوسط ولكن كل ما هنالك الحركة الدورية الصغيرة جدا لها

(أحد الأمثلة المحلولة فيما بعد يوضح لنا أن تلك الإزاحة قد تصل فى صغرها

لدرجة أنها تكون مساوية لقطر اصغر ذرة فى الوجود وهى ذرة الأليروجين

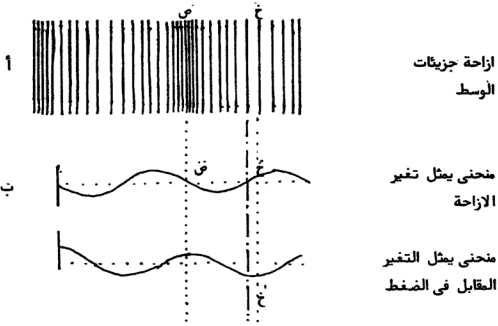
اي حوالى " 10^{-11} " من المتر - ومع ذلك بفضل الله سبحانه وتعالى يُمكنُ للآذن ان تستجيب لها وتخبر بأن هناك " همسا خافتا " وهذه الحركة في اتجاهين متعاكسين على خط طول انتشار الطاقة الصوتية نفسها . وفي شكل (١-٢) تُوضَّح هذه الحركات الاهتزازية بمنحنيات بيانية تمثل الازاحة وتغيرات الضغط المقابلة .

وبلاحظ ان هذه المنحنيات - واساسها معادلة (١-٣) - تُمثِّل انتقال الطاقة الصوتية من نقطة الى اخرى في الحيز على امتداد خط هندسى واحد ولهذا يوجد مستويات عمودية عليه كل منها يمثل مواضع الحيز التى تشترك فى قيمة معينة لزاوية الطور θ وتمثل " مَدَر الموجه الصوتية المستوية " (Plane Wave Front of Sound) وهى تعبر عن الوضع الفيزيائى فى حالة منبع صوت بعيد نسبيا عن الاجسام التى تعترض طريق الطاقة الصوتية. أما انا كانت هذه المسافة ليست بالبعد الكافى لافتراض ذلك فان الطاقة الصوتية فى هذه الحالة تنتشر بتماثل كرى حول المنبع وفى هذه الحالة تُستبدل معادلة (١-٣) بالعلاقة التالية :

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{r}{\lambda} - \frac{t}{T} \right) = A \sin \theta_r \quad (1-4)$$

حيث المتجه \vec{r} كالمعتاد عبارة عن

$$(\vec{r} = \vec{i}x + \vec{j}y + \vec{k}z)$$

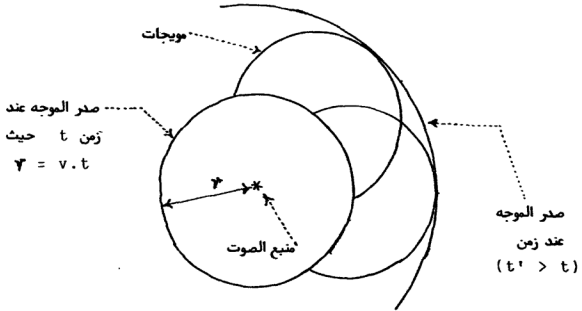


المنحنى ب يمثل تغير الازاحة y مع احداثى الموضع عند لحظة معينة أو تغير الازاحة y مع احداثى الزمن عند نقطة معينة فى الحيز الذى ينتشر فيه الصوت ويصاحبه إزاحة جزيئات الوسط الموضحة فى الشكل أ وفيه نقط التضامط تقابل تلاقى المنحنى ب مع المحور باتجاه " من اعلاه الى اسفله " بينما نقط التخلخل خ تقابل تلاقى المنحنى ب مع المحور باتجاه " من اسفله الى اعلاه " .

شكل (٢-١)

التشيل البياني لما يصاحب الحركات الاهتزازية المقترنة بانتشار الصوت من إزاحة لجزيئات الوسط وتغيرات تقابلها فى الضغط .

ومصدر الموجه عبارة عن سطح كروي مركزه يوجد به منبع الصوت ويزداد نصف قطر
مصدر الموجه تبعاً بتطبيق مبدأ هايجنز: Huygens's Principle الموضح فى
شكل (٣-١). وتبعاً لهذا المبدأ فإن موضع مصدر الموجه عند أى لحظة عبارة عن
السطح المغلف لجميع المويجات التى تولدت من النقاط على مصدر الموجه الموجودة قبل
تلك اللحظة .



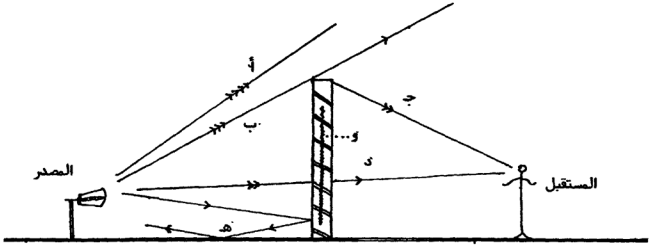
شكل (٣-١)

مبدأ هايجنز لانتشار الحركة الموجية

هذا الوضع الهندسى - بجانب تذكرنا لقانون بقاء الطاقة - يوضح لنا ان كمية الطاقة الصوتية الصادرة من المنبع الذى فى المركز - والتي تخترق فى الثانية الواحدة وحدة المساحات لسطح كرى محيط بمنبع الصوت يتناسب عكسيا مع مربع نصف قطر هذا السطح - أى عكسيا مع مربع البعد r بين المنبع والمستقبل .

ماذا يحدث للطاقة الصوتية عند انتقالها من موضع المصدر الى موضع المستقبل :

أولا : خارج مبنى : (مثال مبسط - راجع الباب الرابع)



حاجز يفصل بين
المنبع والمستقبل

- أ ، ب طاقة صوتية لا يصل منها أي جزء للمستقبل
ج طاقة صوتية تصل للمستقبل نتيجة حيود موجات الصوت عند حافة الحاجز
(راجع مبدأ هايجنز في شكل (١-٣) .
د طاقة صوتية تصل للمستقبل بعد نفاذها خلال الحاجز
ه طاقة صوتية حدث لها انعكاس عند سطح الحاجز المواجه للمصدر . ولا يصل
منها أي جزء للمستقبل
و طاقة صوتية حدث لها امتصاص بواسطة جزيئات مادة الحاجز . ولا يصل منها
أي جزء للمستقبل .

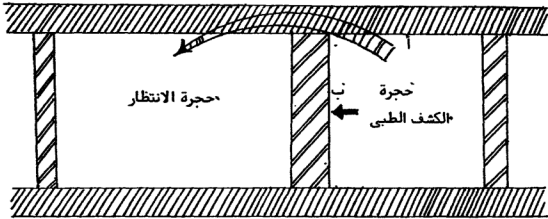
أي أن :

$$\text{الطاقة الصوتية المنبعثة من مصدر الصوت} = (أ + ب + ج + د + ه + و) \\ \text{الطاقة الصوتية التي تصل للمستقبل نتيجة تواجد الحاجز} = (د + و) \text{ فقط}$$

شكل (٤-١)

تأثير وجود حاجز يفصل بين مصدر الصوت
والمستقبل

ثانيا : داخل مبنى : (مثال مبسط - راجع الباب)



أ طاقة صوتية تعبر من غرفة الكشف الطبي الى حجرة الانتظار عن طريق السقف

المشترك .

ب طاقة صوتية تعبر من غرفة الكشف الطبي الى حجرة الانتظار عن طريق الجدار

المشترك .

مثال يوضح أهمية مايراعيه المهندس المعماري في

مبنى المستشفى بحيث يضمن سرية الحديث

بين المريض وطبيبه وكذلك عدم وصول اى

شوشة الى غرفة الكشف الطبي

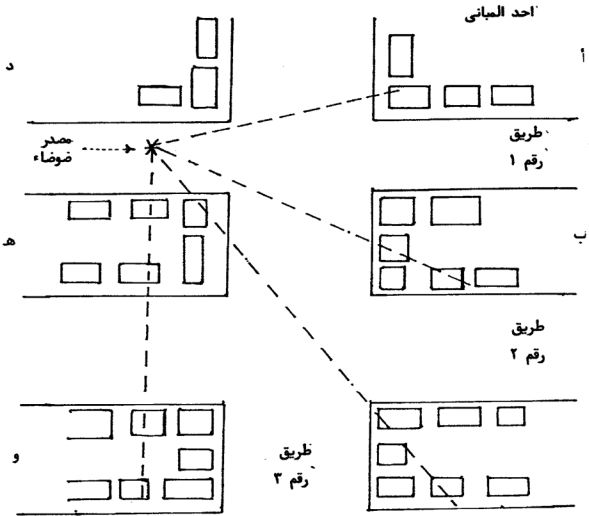
شكل (٥-١)

ثالثا : من خارج المبنى الى داخل المبنى :

في المثالين السابقين كان الأول يختص بانتقال الطاقة الصوتية من مصدر الصوت خارج المبنى الى مُتلق خارج المبنى أيضا •

بينما المثال الثاني يختص بانتقال الطاقة الصوتية من مصدر الصوت داخل المبنى الى مُتلق داخل المبنى أيضا •

أما المثال التالي فيوضح انتقال الطاقة الصوتية من مصادر الضوضاء خارج المباني الى داخل المباني :



يلاحظ أن الضوضاء الصادرة من المصدر بالطريق رقم ١ يصل الجزء الأكبر منها إلى المباني المقامة على قطعة الأرض (أ أو المربع) هـ وكذلك د بينما الجزء الأصغر من ضوضاء هـ هذا المصدر يصل إلى المباني المقامة على قطعة الأرض ح وذلك لسببين : المسافة والمباني التي تعترض تلك الطاقة الصوتية .

شكل (١-٦)

نلاحظ من الامثلة المبسطة الثلاثة السابقة والخاصة بانتشار الطاقة الصوتية من نقطة الى أخرى يجب أن نتحدث عن :^{أنه}

أ — الانتقال المباشر للطاقة الصوتية (Direct Propagation)

ب — امتصاص الطاقة الصوتية (Sound Absorption) بنسب تزيد أو تقل تبعاً لطبيعة المواد والقوامل التي تعترضها .

ج — انعكاس الطاقة الصوتية (Sound Reflection) بنسب تزيد أو تقل تبعاً لطبيعة سطح الفاصل المواجه لقدم الطاقة الصوتية . وأيضاً تبعاً لنسبة أبعاد هذا الفاصل بالنسبة للطول الموجي للطاقة الصوتية مما يحدد أيضاً نسبة الطاقة الصوتية القادمة التي يحدث لها عند حافة الفاصل عيود .

ولكى يصبح الحديث عن أى من تلك الظواهر محدداً بقيم قياسية علينا أن نتعرف أولاً على الكميات الفيزيائية التالية المرتبطة ارتباطاً وثيقاً ببعضها وبالطاقة الصوتية :

— مستوى ضغط الصوت (Sound Pressure Level "SPL")

الذي يعتمد على :

— ضغط الصوت (Sound Pressure "P") الذي يعتمد

على :

— شدة الصوت (Sound Intensity "I")

ولذلك ربما من المناسب ان ننتقل في الباب الثاني للحديث في بدايته عــــن

• شدة الصوت •

مثال (١-١) :

سلك زنبركى طوله الاصلى ١٥ر٠ متر وعندما يتدلى منه كتلة مقدارها ٣ كـجـم
يصبح طوله فى حالة اتزان تلك الكتلة ١٥٣ر٠ متر • احسب معامل المتانة لهذا
الزنبرك •

الحل :

حيث ان الكتلة المعلقة فى طرف الزنبرك متزنة تحت تأثير قوتين متضادتين

فى الاتجاه :

(mg) ثقلها الى اسفل. وقوة الشد فى الزنبرك (ky) إذا

$$k = \frac{mg}{y} = \frac{(3 \text{ kg}) \cdot (9.81 \text{ metre} \cdot \text{sec}^{-2})}{(3 \times 10^{-3} \text{ metre})} = 9810 \text{ Newton/m.}$$

(1-5)

ويستخدم مثل هذا الزنبرك فى التحكم فى حركة الاحمال الثقيلة •

مثال (٢-١) :

بالنسبة للمثال السابق لنفترض ان السلك الزنبركي بعد ان حدث له حالة الاتزان والكتلة ٣ كجم متدلية منه . لنفترض ان الاستطالة زِيدَتْ بمقدار ٥٠ فى المائة بازاحة تلك الكتلة الى اسفل : (أ) احسب الزمن الدورى للحركة التوافقية البسيطة التى تتحركها الكتلة المتدلية من السلك . (ب) كرر الحل إذا زيدت الاستطالة بمقدار ٣٠ فى المائة بدلا من ٥٠ فى المائة . (ج) كرر الحل اذا تعرض السلك للانضغاط بدلا من الاستطالة فى الجزء (أ) من السؤال .

الحل :

(أ) كما ورد فى معادلة (1-2) $\omega^2 = k/m$

∴ $\omega^2 = \left(\frac{29}{T} \right)^2 = \frac{k}{m} = 3270$ (1-6)

∴ $T = 0.11 \text{ sec}$

(ب) ، (ج) نفس الاجابة لان الزمن الدورى لايعتمد على قيمة الزيادة او النقصان فى الاستطالة التى طرأت عن وضع اتزان الزنبرك .

مثال (٣-١) :

في المثال السابق لنفرض ان الكتلة ٣ كجم تم تثبيت فرشها حبر بها بحيث يلامس طرفها ورقة رسم ملفوفة على بكرة لها حركة دائرية منتظمة حول محورها بحيث ان ورقة الرسم تتحرك خطيا حركة منتظمة أثناء تلامسها مع سن فرشها الحبر .
ارسم المنحنى الناتج على ورقة الرسم على فرض ان سرعة الورقة $v' = ٠.٠٥$ متر / ثانية .

الحل :

الرسم الناتج عبارة عن المنحنى الجيبى الذى سبق الاشارة اليه فى شكل (٢-١) مع ملاحظة ان المسافة x تساوى $v't$ حيث t الزمن - وعلى فرض ان حركة الكتلة حركة توافقية بسيطة . أما اذا كانت مركبة فالمنحنى الناتج يختلف الى اشكال متعددة ودراسته تستخدم كأساس لتحليل الحركات التوافقية المركبة مثل تحليل الاصوات .

مثال (٤-١) :

احسب سرعة الصوت :

(١) فى الهواء بفرض ان ضغطه ٠.٧٦ متر زئبق ، λ تساوى ١.٤ وكثافته ١.٢٩ كجم / متر^٣ .

(ب) في الماء علما بأن معامل مرونته 1.96×10^9 نيوتن / متر^٢

(ح) في الصلب علما بأن معامل مرونته (معامل يونج) 1.0×10^{11} نيوتن / متر^٢

الحل :

(أ) حيث ان في الهواء :

$$v = \text{سرعة الصوت} = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (1-7)$$

$$\begin{aligned} \therefore v &= \sqrt{\frac{1.4 \times 0.76 \times 9.81 \times 13.6 \times 10^3}{1.29}} \\ &= 331.7 \quad \text{m/sec} \end{aligned} \quad (1-8)$$

(ب) سرعة الصوت في الماء :

$$\begin{aligned} \therefore v &= \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{1.96 \times 10^9}{10^3}} = 1400 \quad \text{m/sec.} \\ & \quad (1-9) \end{aligned}$$

(ح) سرعة الصوت في مادة الصلب :

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{10^{10}}{8 \times 10^3}} = 35360 \quad \text{m/sec.} \\ & \quad (1-10) \end{aligned}$$

مثال (٥-١) :

احد جزيئات مادة ما يتحرك حركة اهتزازية سرعتها الزاوية ω ، سعتها A والازاحة عند أى لحظة ما نرمز لها كالمعتاد بالرمز y . احسب لهذا الجزيء الذى سنفتري ان كتلته m كلا من : (أ) طاقة الوضع (P.E.) ، (ب) طاقة الحركة (K.E.) .

الحل :

(أ) من تعريف طاقة الوضع تبعا للصورة العامة بانها تكامل حاصل الضرب القياسى $(-F \cdot dy)$

حيث F القوة المؤثرة على الجسم بينما dy عنصر الازاحة . إذا

$$(P.E.) = \int_0^y -F \cdot dy = \int_0^y -(-ky) \cdot dy = \frac{1}{2} ky^2 \\ = \frac{1}{2} m \omega^2 y^2 \quad (1-11)$$

وبالتعويض عن الازاحة y من معادلة (1-3) نلاحظ أن :

$$(P.E.) = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \sin^2 \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right] \quad (1-12)$$

اي ان طاقة وضع الجسم المهتز تتغير بالزيادة والنقصان اثناء الزمن الدورى للاهتزاز. $(T = 1/f = 2\pi/\omega)$ ولكن يلاحظ أنه يتميز بقيمة متوسطة اثناء الدورة الكاملة. وحيث ان متوسط قيمة مربع جيب أى زاوية خلال دورة كاملة (أى فى المدى من قيمة الزاوية $0 = \text{صفر الى } 2\pi = 0$) عبارة عن المقدّر $\frac{1}{2}$ إذا :

$$\overline{(P.E.)} = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = m \omega^2 A^2 / 4 \quad (1-13)$$

(ب) مرة اخرى من تعريف طاقة الحركة بأنها حاصل ضرب نصف كتلة الجسم المتحرك فى مربع سرعة حركته ، حيث السرعة هنا هى سرعة حركته الاهتزازية التى تتصف بازاحة عبارة عن y ولذا فان تلك السرعة ببساطة عبارة عن (dy / dt) كمشتقة تفاضلية لهذه الازاحة كالمعتاد . إذا

$$(K.E.) = \frac{1}{2} m \left[\frac{d}{dt} \left\{ A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right\} \right]^2$$

$$\therefore (K.E.) = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cos^2 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (1-14)$$

وينفى الاسلوب الذى رأيناه بالنسبة لطاقة الوضع فان متوسط قيمة طاقة الحركة عبارة عن :

$$\overline{(K.E.)} = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \cdot \left(\frac{1}{2}\right) = \frac{1}{4} m \omega^2 A^2 \quad (1-15)$$

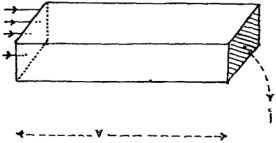
بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الثانى

العلاقة بين شدة الصوت ومستويات شدة

الصوت وضغطه

شدة الصوت (I) - "Sound Intensity"



تعرف شدة الصوت عند
نقطة مثل أ بأنها كمية الطاقة
الصوتية التى تعترضها فى
الثانية الواحدة وحيدة
المساحات العمودية على اتجاه
انتشار الصوت عند تلك النقطة .

وانا افترضنا ان :

رسم توضيحي لمفهوم شدة الصوت

عند النقطة أ

$E =$ متوسط كمية الطاقة

الصوتية الموجودة فى

وحدة الحجم من

الوسط الذى ينتشر فيه

الصوت

شكل (١-٢)

أى : متوسط كثافة الطاقة الصوتية • مقدرة بالجول لكل متر

$$\cdot (J/m^3) \quad \text{مكعب}$$

$$v = \text{سرعة انتشار الصوت في هذا الوسط} \quad (m/sec)$$

$$\rho = \text{كثافة الوسط} \quad (kg/m^3)$$

$$y = \text{ازاحة جزيئات الوسط عند تلك النقطة من الوسط} \cdot \text{وهي تبعاً}$$

للمعادلة (1-3) :

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (1-3)$$

ومن المفهوم الفيزيائى لمتوسط كثافة الطاقة الصوتية \bar{E} فانها عبارة عن :

$$\bar{E} = (\text{متوسط كثافة طاقة الحركة لجزيئات الوسط})$$

$$+ (\text{متوسط كثافة طاقة الوضع لها})$$

اى انها مجموع الكميتين التاليتين :

$$\bar{E} = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 + \frac{1}{2} \rho \omega^2 y^2 \quad (2-1)$$

وقد سبق لنا فى مثال (٥-١) ان رأينا ان كلا منهما يساوى

$$(\frac{1}{4} \rho A^2 \omega^2) \quad \text{كما توضح المعادلتان (1-13) ، (1-15)}$$

إننا :

$$E = \left[\frac{1}{4} m \omega^2 A^2 + \frac{1}{4} m \omega^2 A^2 \right] = \left[\frac{1}{2} m \omega^2 A^2 \right]$$

$$= \frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 \quad (2-2)$$

وبالرجوع الى شكل (١-٢) الخاص بمفهوم شدة الصوت نلاحظ ان كمية الطاقة الصوتية التي تعبر وحدة المساحات العمودية على اتجاه انتشار الصوت الى اتجاه سرعته v - هي الكمية التي كانت شاذلة حجما مقدارها حاصل الضرب $(v \times 1)$ إذا شدة الصوت (I) عبارة عن حاصل ضرب هذا الحجم في متوسط كثافة الطاقة الكلية \bar{E} وعلى ذلك فان :

$$I = \bar{E} \cdot (v \times 1) = \bar{E} \cdot v \left[\left(\frac{\text{Joule}}{m^3} \right) \cdot \frac{m}{\text{sec}} \right] \equiv \frac{\text{Watt}}{m^2} \quad (2-3)$$

وبالتعويض من معادلة (2-2) :

$$\therefore I = \left(\frac{1}{2} \rho \omega^2 A^2 \right) \cdot v = \frac{1}{2} \rho (4 \pi^2 f^2) A^2 \cdot v$$

$$\therefore I = 2 \pi^2 \rho v A^2 f^2 \quad \text{Watt/m}^2 \quad (2-4)$$

وهذه النتيجة توضح لنا أن شدة الصوت (I) في وسط ما تتناسب مع
(على افتراض ان الكثافة (ρ) والسرعة (v) ثابتتين) :

- مربع سعة الاهتزاز (A^2) ،
• مربع تردد الموجات الصوتية f^2 .

مثال (٢-١) :

أ - احسب سعة الاهتزازة لجزيئاتهواء جوى ينتشر فيه صوت شدته I_0 تساوى 10^{-12} وات / متر^٢ (تردد ١٠٠٠ هيرتز) - علما بأن هذه القيمة من شدة الصوت بهذا التردد تُعرف بأنها " عتبة القدرة السمعية لأن الإنسان العادية (Threshold of hearing) فهي بذلك تمثل أدنى قيمة لشدة الصوت الذى يمكن أن يثير الاحساس السمعى .

ب - كرر المطلوب فى الجزء أ بالنسبة لصوت شدته I_{pain} (تردد ١٠٠٠ هيرتز أيضا) - علما بأن هذه تعرف بانها عتبة الشعور بالتألم بالنسبة لأن الإنسان العادية (Threshold of Feeling) وهى بذلك تمثل أقصى قيمة لشدة الصوت يجب عدم تعريض الأذن لشدة اكبر منها. حتى لا يتعرض السامع لمشاكل صحية عديدة ليست قاصرة على جهاز السمع (راجع صفحة ١٧٠) .

نلاحظ فى هذا المثال أن الأذن العادية قد خلقها الله سبحانه وتعالى بحيث تكون لها القدرة على استيعاب مدى من شدة الصوت اتساعه مليون مليون

(اى ألف بليون) مرة قدر اى همس يمكنها سماعه .

الحل :

(أ) بالتعويض المباشر فى العلاقة (2-4) نجد أن :

$$\begin{aligned} A &= \sqrt{\frac{I_0}{2 \rho v f^2}} \\ &= \sqrt{\frac{(10^{-12} \text{ Watt.m}^{-2})}{2 \cdot (10) \cdot (1.29 \text{ kg.m}^{-3}) \cdot (340 \text{ m/sec}) \cdot (10^8 \text{ sec}^{-2})}} \\ &= \sqrt{\frac{0.1 \times 10^{-20}}{8.84}} = 10^{-11} \text{ m} \quad (2-5) \end{aligned}$$

أى ان سعة اهتزاز جزيئات الهواء (وبالتالي فى احسن الاحوال سعة اهتزاز غشاء
طبلة الأذن) تقرب فى القيمة فى هذه الحالة من قيمة قطر ذرة الهيدروجين
(راجع صفحة ٨) .

(ب) ينشئ الأسلوب نعمل على :

$$(A)_{I_{\text{pain}}} = 0.01 \text{ millimeter} = 10^{-5} \text{ meter} \quad (2-6)$$

اي ان سعة اهتزاز جزيء الهواء مليون مرة قدر القيمة في الجزء "أ" من المثال الحالى . وهذا هو السبب فى وجوب عدم تعريض الأذن دون وقاية لمثل هذه الشدة العالية من الصوت وإلاّ تعرضت الطبلة للآلام الشديدة وربما للتمزق .

العلاقة بين شدة الصوت (I) وضغط الصوت (P) :

بالنسبة لحقل العمل التطبيقي لموتيات المبانى فان المهندس يُفضّل أن يَستبدل قياس شدة الصوت بما يقابلها من ضغط الصوت اذ أن الاخير لا يحتاج الاّ لاستعمال ما يشبه المانوميتر البسيط لاتمام عملية القياس .

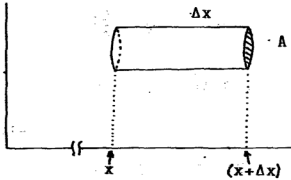
وللتعرف على العلاقة بين شدة الصوت (I) وضغط الصوت (P) نبدأ بالمعادلة الرياضية التى تربط بين سرعة الصوت (v) فى وسط ما ومعامل المرونه له (K) وكثافته (ρ) . وقد سبق الإشارة لها فى الباب الاول :

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (2-7)$$

وحيث أننا نتكلم عن انتشار الصوت فى الهواء إذاً (K = - ΔP / (ΔV/V))

$$\therefore v = \sqrt{- \frac{\Delta P}{(\Delta V/V)}} \quad (2-8)$$

حيث الإشارة السالبة أُضيفت لأن في هذه الحالة الزيادة (ΔP) في الضغط يُصاحبها نقصان (ΔV) في الحجم الأصلي (V) للمائع (الهواء) .
ولسهولة استنتاج العلاقة التي نود الحصول عليها بين (I) ، (P) لنعتبر جزءاً ما من الوسط الهوائي الذي



تنتشر فيه الطاقة الصوتية حجمه V يساوي حاصل ضرب مساحة مقطع هذا الجزء (A) وطوله (Δx) أي أن

$$[V = A \cdot \Delta x]$$

عنصر من الحيز الذي يحتوى الطاقة الصوتية

ولقد رأينا أن ازاحة الاهتزازة لجزيئات الوسط أثناء مرور الطاقة

شكل (٢-٢)

الصوتية عبارة عن :

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (1-3)$$

وبإجراء التفاضل الجزئي لهذه الازاحة y بالنسبة لإحداثى الموضع x عند لحظة t :

$$\therefore \frac{\partial y}{\partial x} = - \frac{2\pi A}{\lambda} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (2-9)$$

ومن أساسيات " حساب التفاضل " فإن : $(\Delta V/V) = (\partial y / \partial x)$

إذاً بالتعويض في معادلة (2-8) والاستفادة من معادلة (2-9) نحصل على :

$$\therefore \Delta P = - \rho v^2 \left[- \frac{2\pi A}{\lambda} \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right]$$

$$\therefore \Delta P = 2\pi A \rho f v \sin \left\{ \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \frac{\pi}{2} \right] \right\}$$

(2-10)

وبمقارنة هذه العلاقة بمعادلة (1-3) الخاصة بإزاحة الاهتزازة y

نلاحظ أن " التغير في الضغط ΔP " و " إزاحة الاهتزازة y " يختلفان عن بعضهما في " زاوية الطور θ " بمقدار $\pi/2$ (أى 90°) .
(راجع شكل (٢-١) والفرق بين المنحنى ب (الذى يمثل الإزاحة) والمنحنى ج (الذى يمثل التغير فى الضغط)) .

والآن فى معادلة (2-10) نلاحظ أن القيمة القصوى للتغير فى

الضغط $(\Delta P)_{\max}$ أثناء مرور موجات الصوت فى الهواء - وتسمى " سعة تغير الضغط ويرمز لها عادة بالرمز P " عبارة عن :

$$P = (\Delta P)_{\max} = 2 \rho A \omega f v \quad (2-11)$$

$$\therefore P^2 = 4 \rho^2 A^2 \omega^2 f^2 v^2 \quad (2-12)$$

وسبق أن رأينا ان شدة الصوت (I) عبارة عن :

$$I = 2 \rho \omega^2 A^2 v f^2 \quad (2-4)$$

وبقسمة المعادلة (2-4) على (2-12) نحصل على " شدة الصوت بدلالة مربع سعة تغير الضغط P^2 " :

$$I = \frac{P^2}{2 \rho v} \quad (2-13)$$

وهذه العلاقة هي الأساس الذي يستخدمه المهندس لقياس شدة الصوت I بقياس فروق الضغط P . ولكنه يلاحظ أن مدى قيم شدة الصوت التي تشعر بها الأذن العادية كبير للغاية (يمتد من 10^{-12} وات / متر² الى 1 وات / متر²) ووضح ذلك في مثال (١-٢) . هذا بالإضافة الى حقيقة أخرى وهي أن إحساس الأذن تجاه شدة الصوت هو " ظاهرة فيسيولوجية " بينما شدة الصوت نفسها " كمية فيزيائية " وبالقياس في مثل هذه الحالات فإن المهندس يعبر عن شدة الصوت وما يكافئها من ضغط الصوت بقياس لوغاريتمى مع استخدام القيمة القياسية $(I_0 = 10^{-12} \text{ Watt/m}^2)$ - عند تردد ١٠٠٠ هيرتز -

أو ما يقابلها من $(P_0) 2.0000 \times 10^{-7}$ نيوتن / متراً (أى ٢٠ ميكروباسكال)
كمراجع لهذا المقياس • وعلى هذا الأساس اتفق على التعاريف التالية :

Sound Intensity Level (SIL) : مستوى شدة الصوت

$$SIL = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad \text{decibel (dB)} \quad (2-16)$$

وذلك نسبةً الى العالم جراهام بيل الاميريكي الاسكوتلاندى الأمل - مخترع
التليفون •

Sound Pressure Level (SPL) : مستوى ضغط الصوت

$$SPL = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad \text{dB} \quad (2-15)$$

ونلاحظ ان معادلة (2-15) بها المعامل 20 بدلا من المعامل 10
فى معادلة (2-14) لأن I تتناسب مع مربع P تبعاً لما رأيناه
فى العلاقة (2-13) • وأى من هاتين المعادلتين (2-14) أو (2-15)
تؤيدان الى قيمة ما يمكن ان نعطيه الاسم العام " مستوى الصوت " أو " مستوى
الضوضاء " •

مثال (٢-٢) :

أوجد مقدار الفائدة أو الفقد بالديسيبل الذي يقابل كل من التخميرات التالية

في القدرة من P_1 الى P_2 :

أ - ١٥ مللى وات الى ٧٥ مللى وات .

ب - ٠.١٢ مللى وات الى ٢.٤ مللى وات .

ج - ١٦ مللى وات الى ٥ مللى وات .

الحل :

أ - مقدار الفائدة بالديسيبل عبارة عن (Gain) :

$$\text{Gain} = \text{الفائدة} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} = 10 \log \frac{75}{15} \quad (2-16)$$

$$= 10 (0.699) = + 6.99 \text{ dB}$$

$$\text{Gain} = 10 \log \frac{2.4}{0.12} = 10 (1.301) = +13.01 \text{ dB} \quad (\text{ب})$$

(ج) بما ان P_2 اقل من P_1 ، إذا هناك فقد (Loss) عبارة عن :

$$\text{Loss} = \text{الفقد} = 10 \log \frac{5}{16} \quad (2-17)$$

$$= 10 (0.690 - 1.2041) = -5.14 \text{ dB}$$

مثال (٢-٢) :

إذا فرض أن القدرة المدرجة p_{in} لأحد مكبرات الصوت ١٢٠ مللي واط
وأن الفائدة الناتجة من استخدام ٣ مراحل بداخله للتكبير هي ٣٥ ، ١٢ ، ١٦
ديسيبل . احسب القدرة الناتجة p_{out} في هذا المكبر .

الحل :

بما أن الفائدة الكلية بالديسيبل الناتجة من استخدام هذا المكبر عبارة عن
مجموع الفائدة في الثلاث مراحل . إذاً

$$\text{الفائدة الكلية} = 35 + 12 + 1.6 = 48.6 \text{ dB} \quad (2.18)$$

$$\therefore 48.6 = 10 \log_{10} \frac{\text{القدرة الناتجة } p_{out}}{\text{القدرة المدرجة } p_{in}}$$

$$\therefore \log \frac{P_{out}}{P_{in}} = 4.86$$

$$\therefore \frac{P_{out}}{P_{in}} = 72440$$

وعلى ذلك فإن القدرة الناتجة هي :

$$P_{out} = 8692.8 \text{ mW} = 8.69 \text{ Watts}$$

مثال (٤-٢) :

إصدار نغمة ما بواسطة آلة البيانو لنفرض أن القوة المؤثرة بأصبع من يعزف عليه هي ثقل ١٤ كجم وعلى مدى مسافة ١٦ سم . فإنا فرض أيضا أن كفاءة (Efficiency) البيانو ٢٢ في المائة وأن ١٥ في المائة فقط من الطاقة التي يستقبلها مكبر صوتي بجوار البيانو تُوجّه إلى دائرته الكهربائية الأولية - احسب الفائدة بالديسيل المطلوبة حتى يتم مايلي :

- أ - أن ينبعث من المكبر نفس الطاقة المعطاه له بواسطة البيانو .
- ب - أن ينبعث من المكبر نفس الطاقة التي يستقبلها البيانو .

الحل :

$$\therefore J = (1.4 \times 9.81 \times 0.016) \text{ الطاقة التي يستقبلها البيانو}$$

$$J \times 0.022 = (1.4 \times 9.81 \times 0.016) \times 0.022 \text{ الطاقة التي ينتجها البيانو}$$

$$J \times 0.015 = (1.4 \times 9.81 \times 0.016 \times 0.022) \times 0.015 \text{ الطاقة التي توجّه للدائرة الأولية للمكبر}$$

(أ) إنا الفائدة $(Gain)_1$ بالديسيبل المطلوبة من المكبر حتى ينبعث

منه نفس الطاقة المعطاه له بواسطة البيانو عبارة عن :

$$(Gain)_1 = 10 \log_{10} \frac{(1.4 \times 9.81 \times 0.016) \times 0.022}{(1.4 \times 9.81 \times 0.016 \times 0.022) \times 0.015}$$

(2-19)

$$= 10 (\log 1000 - \log 15)$$

$$= 10 (1.824) = 18.24 \text{ dB}$$

(ب) بينما الفائدة $(Gain)_2$ بالديسيبل المطلوبة من المكبر حتى ينبعث منه نفس الطاقة التي يستقبلها البيانو عبارة عن :

$$\begin{aligned}(Gain)_2 &= 10 \log_{10} \frac{(1.4 \times 9.81 \times 0.016)}{(1.4 \times 9.81 \times 0.016 \times 0.022 \times 0.015)} \\ &= 10 \log \left(\frac{1}{0.00033} \right) = 10(5 - 1.5185) \\ &= 34.82 \quad \text{dB}\end{aligned}$$

مثال (٥-٢) :

غرفة بها ماكيتان متشابهتان في الضوضاء التي تصدر من أى منها بمستوى ٥٠ ديسيبل . احسب المستوى الكلى للضوضاء الصادرة من كليهما معا . كرر الحل اذا كان بهذه الغرفة عدد ٣ ، ٥ ، ١٠ ، ١٠٠ صدر منها الضوضاء جميعا فى نفس الوقت .

الحل :

من معادلة (2-14) فان مستوى شدة الضوضاء SIL ترتبط بشدة الضوضاء I كما يلي :

$$\text{SIL} = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad \text{dB}$$

وفي هذا المثال لدينا

$$50 \text{ dB} = 10 \log \frac{I}{10^{-12}} \quad (2-21)$$

$$\therefore \log \frac{I}{10^{-12}} = 5, \quad \therefore \frac{I}{10^{-12}} = 10^5$$

$$\therefore I = 10^{-7} \text{ Watt/m}^2 \quad (2-22)$$

وهذه هي شدة الطاقة الصوتية الصادرة من ماكينة (مصدر الضوضاء) واحدة فقط . إذاً شدة الطاقة الصوتية الكلية (I_c) الصادرة من المنبعين معاً هي ($I_c = 2 I$) وبذلك فإن مستوى شدة الطاقة الكلية للمنبعين معاً ($\text{SIL})_c$ عبارة عن :

$$(\text{SIL})_c = 10 \log \frac{I_c}{I_0} = 10 \log \frac{2 I}{I_0} \quad (2-23)$$

وباستخدام النتيجة (2-22) نحصل على

$$(\text{SIL})_c = 10 [\log 2 + 5] = 53 \text{ dB} \quad (2-24)$$

أى ان اضافة منبع مائل للمنبع الاول يزيد مستوى شدة الضوضاء بعقدار ٣ ديسيبل . بنفس الاسلوب يتم الحل بالنسبة لأى عدد من منابع الصوت المتشابهة من حيث شدة الطاقة الصوتية (والطيف الترددى) الصادرة من كل منها ٠ والجدول التالى يلخص النتائج الخاصة بالمثال الحالى حيث مستوى شدة الصوت الصادرة من كل منبع قيمته المعطاه . ٨ ديسيبل :

١٠٠	١٠	٥	٣	عدد منابع الصوت المتشابهة
٧٠	٦٠	٥٧	٥٤٫٨	مستوى شدة الطاقة الصوتية الكلية
٢٠	١٠	٧	٤٫٨	الزيادة عن مستوى الشدة لمنبع مفرد

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الثالث

العوامل التي تؤدي إلى تباين الأصوات عن بعضها

رأينا ان الصوت كطاقة يتميز بما يلي :

- سعة الازاحة لجزيئات الوسط الذى ينقل تلك الطاقة — مقدرة بالمتر .
- تردد الحركة الموجية الطولية — مقدر بالهيرتز — أو ما يقابله من طول موجي بالمتر . والتي تنتشر على أساسها تلك الطاقة .
- شدة الطاقة الصوتية — مقدرة بالوات / متر^٢ .
- مستوى شدة الطاقة الصوتية — اى مستوى شدة الصوت (SIL) مقدر بالديسيبل أو ما يساويه من مستوى ضغط الصوت (SPL) مقدر بالديسيبل .

جميع هذه المعيزات "فيزيائية" بمعنى أن قيمها يمكن أن تدلنا على كَوْن الطاقة الصوتية الصادرة من منبعها قوية أو ضعيفة . ولكنها لاتدلنا على طبيعة هـذا المنبع . فانا كان شخصا يحدثنا فى التليفون مثلا فمن هو هذا الشخصى . وانا كانت مركبة هل هى طائرة أو قطار أو سيارة أو موتوسيكل . وانا كان حيوان

فمن أى فصيلة . . . وهكذا . ولقد جُلِّقَت الأذن بفضل الله سبحانه وتعالى مُهيَّأة لتحليل الطاقة الصوتية التى تستقبلها من واحد أو أكثر من مصادر الصوت السى " مفرداتها " وعلى أساس هذا التحليل يتم لها أن تُدرك طبيعة كل من مصادر هذه الطاقة الصوتية التى تستقبلها مجتمعة عند لحظة ما . وبهذه المعجزة الإلهية تستطيع الأذن ان تحكم على ثلاث صفات " ذاتية للصوت هى : حدة الصوت - نوعية الصوت - علو الصوت .

حدة الصوت أو مقام الصوت (PITCH) :

هذه الصفة تعتمد بصورة أساسية على تردد الصوت بمعنى أنه كلما كان التردد عالٍ كانت حدة الصوت عالية وبالعكس . وربما يسهل توضيح مايعنى بحسنة الصوت وعلاقتها بالتردد وذلك بالإشارة الى حقيقة علمية خاصة بأن مركز تردد الاصوات الصادرة من الإناث ٩٠٠ هيرتز فى حين ان مركز تردد الاصوات الصادرة من الذكور ٤٠٠ هيرتز ومن هذا يتضح سهولة ان يُدرك المستمع ما اذا كان المتحدث سيحده أم رجل أو طفلة أم طفل . ويساعد على سهولة هذا الإدراك أن حدة الصوت بجانب اعتمادها على التردد فانها تعتمد أيضا على كل من شدة الصوت (Sound Intensity) والنمط الموجى للصوت (Sound - Wave Form) الذى يعتمد بدوره على المركبات التوافقية المكونة للصوت

المصنوع من حيث السعة (Amplitude) ونسب تواجدتها ومزجها مع بعضها البعض (راجع ص بخصوص استخدام جهاز الاوسيلوسكوب لتحليل الصوت) وباختيار القيمة ١٠٠٠ هيرتز كدلالة عيارية للتردد أمكن تحديد سلسلة من القيم العددية لتعيين حدة الصوت مقدرة بوحدات تسمى المِلز (Mels) - مشتقة من كلمة ميلودي (Melody) التي تعنى عذوبة النغمة .

ويُقصد بتردد النغمة تردد احد مركباتها وهي في المعتاد المركبة الرئيسية التي تتميز بالكبرسة (يلاحظ ان جميع النغمات فيما عدا النغمة الصادرة من الشوكة الرنانة عبارة عن نغمات مركبة) . بينما يلاحظ أن الفاصلة الترددية بين حدى نغمتين يعتمد على النسبة بين تردديهما وليس على القيم المطلقة لتردد النغمة .

وأحد الانماط لتقسيم النغمات ما يسمى بالنمط الثمانى (Octave) والمثال التالي يوضح المقصود به :

لنفترض ان لدينا ثلاث ترددات بشرط ان واحد منها يساوى نصف أو ضعف الآخر مثل : ٢٥٦ هيرتز - ٥١٢ هيرتز - ١٠٢٤ هيرتز يقال حينئذ أن :

النغمة ذات التردد ٥١٢ هيرتز تمثل الطبقة الثمانية الأعلى للنغمة ذات

التردد ٢٥٦ هيرتز • وهي نفسها ذات التردد ٥١٢ هيرتز تمثل الطبقة الثمانية
الأدنى للنغمة ذات التردد ١٠٢٤ هيرتز •

ويلاحظ بهذا الخصوص أن النغمات الموسيقية تتميز عن ما دونها من أصوات
أن أطياقها خطية بينما بقية الأصوات تكون أطياقها متملة بمعنى أن المركبات
ذات ترددات تشمل قيم متملة وتغطي مدى متمل محدود •

نوعية الصوت : (Quality or Timbre)

هذه الصفة هي التي تميز بين نغمتين لهما نفس التردد الاساسي ونفس الشدة
ولكنهما صادرتان من مصدرين مختلفين مثل آلة الكمان والطبلة أي لهما نمط موجي
مختلف ولهذا فإن التمييز بينهما يتحدد بتراكيب الفوق نغمية أي تردداتها وسعة كل
منهما بالإضافة إلى طبيعة معدل ازدياد تلك السعة عند بدء إطلاق الصوت ومعدل
تناقصها عندما يتوقف منبع الصوت •

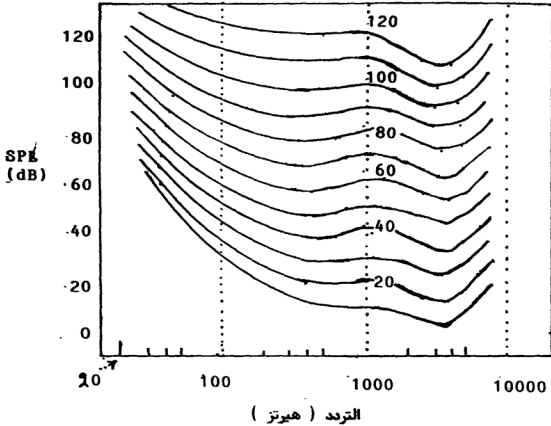
علو الصوت : (Loudness)

علو الصوت الفيزيائي : ووحداته هي " الفون " (Phon)

هذه الصفة هي التي تميز الاحساس بتواجد نغمتين لهما نفس الشدة ولكلّهما مختلفتان في التردد فيحدث أن إحداها مسموعة بوضوح تام بينما النغمة الأخرى غير مسموعة بتاتا أو ربما مسموعة ولكنها خافتة بدرجة ملحوظة :

على سبيل المثال توضح القياسات المعطية ان الأذن العادية أكثر ماتكون احساسا بالصوت عند تردد ٢٥٠٠ هيرتز حيث تكون قادرة على الاحساس والتعرف على الصوت شدته (٠.٤ x ١٠-١٢ وات / متر^٢) ولكن لو تغيّر التردد من ٢٥٠٠ هيرتز الى ١٠٠٠ هيرتز فان نفس هذه الأذن لا تشعر بأن هناك اى صوت إلا اذا زيدت شدته الى (١ x ١٠-١٢ وات / متر^٢) . هذه الحقيقة موضحة في شكل (١-٣) .

وحيث ان القياسات الهندسية الصوتية تؤخذ في المعتاد بالنسبة للتردد ١٠٠٠ هيرتز فقد اتفق على ان يكون مستوى ضغط الصوت عند هذه القيمة من التردد هو القياس لعلو الصوت مقدرا بوحدة الفون (Phons) . ولذلك يلاحظ في شكل (١-٣) ان كل منحنى من منحنياته قيمة علو الصوت الخاصة به بالفون تقابل نفس القيمة العددية لمستوى ضغط الصوت بالديسيبل عند التردد ١٠٠٠ هيرتز . والجدول (١-٣) يلخص معنى الامثلة لعلو الصوت ذات القيم المختلفة والمتباينة (افتراضى تردد متوسط ١٠٠٠ هيرتز) .



في هذا الشكل كل منحنى يختص بعلو صوت ثابت له قيمة معينة مقسورة بالفون وذلك مع تغير كل من التردد (بالهيرتز) ومستوى ضغط الصوت بالديسيبل .

لنأخذ أي منحنى منها وليكن المنحنى " ٥٠ " فون على سبيل المثال :

- علو الصوت ٥٠ فون عند تردد ٣٥٠٠ ومستوى ضغط صوت ٤٣ .
- علو الصوت ٥٠ فون عند تردد ١٠٠٠ ومستوى ضغط صوت ٥٠ .
- علو الصوت ٥٠ فون عند تردد ١٠٠ ومستوى ضغط صوت ٥٨ .

منحنيات علو الصوت المتساوي

شكل (١-٣)

جدول (١-٣)

المنبع	شدة الصوت وات / متر ٢	مستوى شدة الصوت ديسيبل dB	مستوى ضغط الصوت ديسيبل dB	علو الصوت (فون)
اوركسترا (٥٠ عازفا) او داخل مصنع له ضجيج عال او داخل طائرة بحلته في الجو.	٠.٠١	١٠٠	١٠٠	١٠٠
راديو عال الصوت او داخل سيارة والرتز يعمل.	٠.٠٠٠١	٨٠	٨٠	٨٠
داخل مكتب به أناس يتحدثون.	٠.٠٠٠٠٠١	٦٠	٦٠	٦٠
داخل سكن هادئ او داخل غرفة نوم.	٠.٠٠٠٠٠٠٠١	٤٠	٤٠	٤٠
غرفة هادئة جدا أو داخل مسرح بدون عمل.	٠.٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١	٢٠	٢٠	٢٠

العلو الذائى للصوت - مُقدرا بالسرن (Subjective Loudness "Sones")

هذه الصفة هى التى تحدد الشعور بالتغير فى علو الصوت • فقد رأينا
أن العلو الفيزيائى للصوت مقدرا بالفون له أساساً مقياس لوغاريتمى نظرا لانه مرتبط
ارتباطا مباشرا بمستوى شدة الصوت مقدرا بالديسيبل • لهذا السبب يجب
أن نلاحظ ما يأتى :

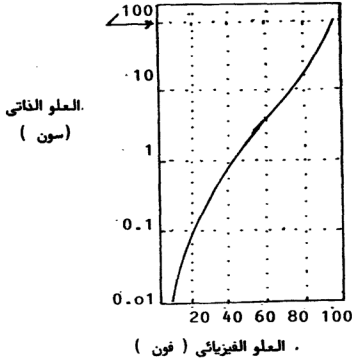
زيادة العلو الفيزيائى للصوت من ١٠ فون الى ٢٠ فون (على سبيل المثال)
لايكافى :

زيادة العلو الفيزيائى للصوت من ٥٠ فون الى ٦٠ فون من ناحية " الشعور " $\frac{1}{10}$
بالتغير فى علو الصوت أى من ناحية ما يطلق عليه " سالعو الذاتى للصوت " •

مثال مُبسط آخر

إذا كان هناك صوتا علوه ٦٠ فون فانا لانستطيع ان " نحكم " بأن هذا
الصوت علوه ضعف علو صوت آخر مستواه ٣٠ فون •

لهذا السبب فان العلو الذاتى للصوت يستخدم وحدات أخرى هى السون
(Sones) حيث يُعرف بأنه علو الصوت لنغمة ترددها ١٠٠٠ هيرتز ومستوى
شدتها ٤٠ ديسيبل كما انها علو الصوت لأى نغمة العلو الفيزيائى لها عبارة عن
٤٠ فون • ويوضح شكل (٢-٣) العلاقة بين العلو^{العلو} الفيزيائى للصوت والعلو^{العلو}
الذائى له •



يلاحظ في هذا الشكل انه في المدى بين (٤٠ ، ١٠٠ فون) فإن
الزيادة في العلو الفيزيائي بمقدار ١٠ فون يقابله زيادة في مقدار العلو الذاتي
بمقدار الضعف .

ويعبر عن تلك الحقيقة بالعلاقة :

$$\begin{aligned} \text{Log(Loudness in Sones)} &= \\ &= 0.33 [(\text{Loudness in Phons}) - 40] \end{aligned}$$

العلاقة بين العلو الفيزيائي والعلو الذاتي للصوت

شكل (٢-٣)

بينما جدول (٢-٣) يعطى بعض الأمثلة لمصادر الضوضاء ومستويات عُلو الصوت مقدرًا بالفون وما يقابله بالسون .

جدول (٢-٣)

سُون	فُون	مثال لمصدر الضوضاء
١٠٢٠	١٤٠	طائرة نفاثة على بعد ٣٨ متر من سطح الأرض
٥١٠	١٣٠	تثبيت سمار برشام فى لوح من الحديد على بعد ٢ متر
٥١٠	١٣٠	طائرة هيليكوبتر على بعد ٣٨ متر عن سطح الأرض
١٣٠	١١٠	قطار كهربائى على كوبرى حديد على بعد ٦ متر . . .
٦٤	١٠٠	ماكينة نسيج
٣٢	٩٠	حفار طريق على بعد ٣٨ متر
٢٢	٨٥	حركة مرور كثيف عند جانب الطريق
١٦	٨٠	مطعم صغير
١١	٧٥	صوت رجل يتحدث على بعد متر
١١	٧٥	مكتب آلة كاتبة بسقف معالج صوتيا
٣	٥٥	حركة مرور خفيف عند جانب الطريق

مثال (١-٢) :

أ - احسب العلو الذاتي الكلي لعدد ست نغمات نقية تردداتها (١٢٥ و ٢٥٠ و

٥٠٠ و ١٠٠٠ و ٢٠٠٠ و ٤٠٠٠ هيرتز) . مستوى شدة كل منها

٦٠ ديسيبل .

ب - احسب القيمة بالفون التي تقابل العلو الذاتي الكلي .

ج - على فرض أن هذه القيمة خاصة بنغمة واحدة ترددها ١٠٠٠ هيرتز ما قيمة

مستوى شدة الصوت عندئذ .

د - قارن بين هذه القيمة وشدة الصوت المقابلة لست نغمات المعطاه .

الحل :

من شكل (١-٣) نحصل أولاً على قيم العلو الفيزيائي لكل من النغمات

السته تبعا لتردها والتي تقابل القيمة الثابتة المعطاه لمستوى شدة الصوت وهى

٦٠ ديسيبل . ثم من شكل (٢-٣) نحصل بعد ذلك على قيم العلو الذاتى

لكل نغمة :

تردد النغمة (هيرتز, Hz)	مستوى شدة الصوت (dB)	العلو الفيزيائي للنغمة (فون)	العلو الذاتي للنغمة (سون)
١٢٥	٦٠	٣٥	٠,٧
٢٥٠	٦٠	٥٤	٣,٠
٥٠٠	٦٠	٥٩	٤,٣
١٠٠٠	٦٠	٦٠	٤,٥
٢٠٠٠	٦٠	٦٢	٥,٠
٤٠٠٠	٦٠	٦٠	٥,٥

إذا مجموع العلو الذاتي للنغمات الستة = ٢٢ سون .

(ب) بالرجوع لشكل (٢-٣) نجد ان هذه القيمة ٢٢ سون تقابل علو فيزيائى

قيمه ٨٠ فون .

(ج) بما ان التردد ١٠٠٠ هيرتز فان القيمة ٨٠ فون تقابل مستوى شدة صوت

٨٠ ديسيبل (تبعاً لتعريف الفون) .

(د) اذا أردنا ان نحسب مستوى الشدة الكلية للصوت المقابلة للقيمة ٢٢ —

نتيجة الست نغمات المعطاه والتي فرضي ان مستوى شدة كل منها (I_1)

٦٠ ديسيبل — فكما رأينا في مثال (٥-٢) :

$$60 = 10 \log \frac{I_1}{I_2}, \quad \therefore I_1 = 10^7 I_2$$

وهذا معناه ان الست نغمات مجموع شدتها I_1 ٦ وعلى ذلك مستـوـو

الشدة المقابل لها $(IL)_{tot}$ عبارة عن :

$$(IL)_{tot} = 10 \log \left(\frac{6 I_1}{I_0} \right) = 67.7 \text{ dB}$$

وذلك بدلا من ٨٠ ديسيبل في حالة نغمة واحدة بتردد ١٠٠٠ هيرتز .

هذا المثال يوضح ان " طاقة صوتية معينة يعتبرها السامع ذات علو ذاتي اكبر عندما

تكون تلك الطاقة موزعة على مدى واسع من التردد عما اذا استقبلها السامع مركزة على

تردد مفرد .

مثال (٢-٣) :

على فرض العلاقة التالية والسابق الاشارة اليها بخصوص المنحنى الذي يربط

بين العلو الفيزيائي والعلو الذاتي للصوت :

Log (Loudness, in Sones)

$$= 0.033 [\text{Loudness Level in Phons} - 40]$$

$$= 0.033 LL - 1.32$$

وَصَحَّحَ أَنَّهُ عِنْدَ تَرَدُّدِ ١٠٠٠ هِيرْتِزْ فَإِنَّ الْعُلُوَّ الْذَاتِيَّ لِلصَّوْتِ بِالسُّونِ يَتَنَاسَبُ مَعَ
الْجَذْرِ التَّكْعِيمِيِّ لَشِدَّةِ الصَّوْتِ مَقْدَرَةً بِالسُّونِ / مِٲَر ٢ •

الحل :

من تعريف الفون يمكننا القول ان العلو الفيزيائي للصوت LL عبارة

عن :

$$LL = 10 \log \left(\frac{I}{10^{-12}} \right) = 10 \log I + 120$$

$$\therefore \log L = 0.033 [10 \log I + 120]$$

$$= 0.033 LL - 1.32$$

$$\therefore \log L = 0.33 \log I + 2.64$$

$$= 0.33 \log I + \log 445$$

$$\therefore L = 445 I^{0.33}$$

مثال (٣-٢) :

احد العاملين فى مصنع ما يتعرض لمدة ساعتين اثناء عمله اليومي لمستوى ضوضاء قدره ١٠٠ ديسيبل وساعتين أخرتين لمستوى ٩٥ ديسيبل واربع ساعات لمستوى ٩٠ ديسيبل . فهل هذا مقبول صحيا ؟

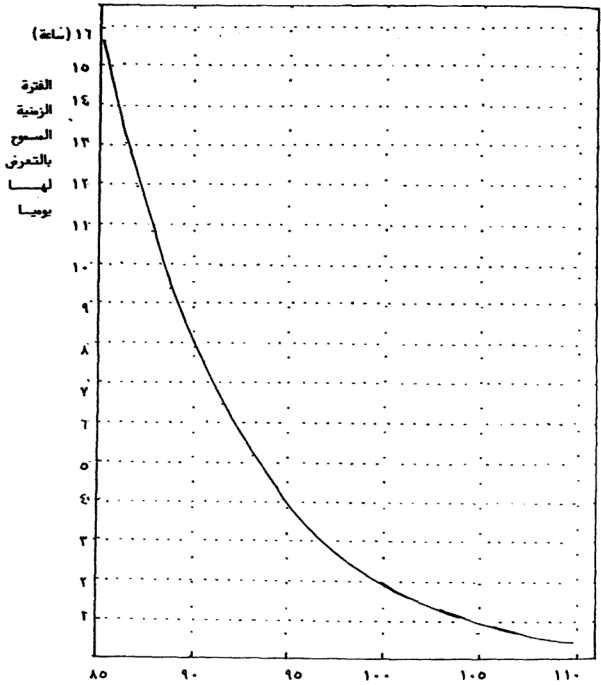
الحل :

لحل هذا المثال علينا ان نستخدم العلاقة الخاصة بالنسبة المئوية للجرعة اليومية من الضوضاء D وهى عبارة عن :

$$D = 100 \left[\frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \frac{C_3}{T_3} + \dots + \frac{C_N}{T_N} \right]$$

حيث :

- ١ و ٢ و ٣ تعود على الدورات المتتابعة للتعرض لمختلف المستويات .
- C هى الفترة الزمنية الفعلية للتعرض للمستوى .
- T هى الفترة الزمنية المسموح بها عند كل مستوى تبعا للمتفق عليه عليها والموضح بشكل (٣-٢) الخاص بالفترة الزمنية المسموح بها لاستقبال اقصى مستويات لضغط الصوت . للحفاظ على القكرة السمعية من التلف) .



مستوى الضوضاء (ديسيبل)

شكل (٢-٢)

ومن هذا الشكل نحصل على قيم T الخاصة بالمثال الحالي فنجد
انها ٢ ، ٤ ، ٨ ساعة بالنسبة للمستويات ١٠٠ و ٩٥ و ٩٠ ديسيبل على
التوالي . إذا

$$D = 100 \left[\frac{2}{2} + \frac{2}{4} + \frac{4}{8} \right] = 200$$

وحيث ان هذه القيمة اكبر من ٥٠ في المائة إذا هذا الوضع بالنسبة للعامل
في هذا المصنع غير مقبول صحيا . ويجب على ادارة المصنع ان يتناوب اكثر من
عامل للتعرض لمثل هذه المستويات من الضوضاء حتى يتعرض كل منهم بما يحقق ان
قيمة D اقل من ٥٠ في المائة .

مثال (٤-٣) :

لنفرض في المثال السابق انه قد تمت المعالجة الصوتية (راجع الباب
الخامس) لمكان العمل بحيث انخفض مستوى الضوضاء بمقدار ٦ ديسيبل .
وان العامل قَصُرَ زمن تعرضه لكل من المستويات الثلاثة بمقدار ساعة كاملة .
فما الموقف إذا ؟

الحل :

الوضع الجديد اصبح كالتالى :

مستوى ضوضاء ٩٤ ديسيبل لمدة ساعة واحدة

مستوى ضوضاء ٨٩ ديسيبل لمدة ساعة واحدة

مستوى ضوضاء ٨٤ ديسيبل لمدة ٣ ساعات

$$\therefore D = 100 \left[\frac{1}{4.5} + \frac{1}{9} + \frac{3}{\infty} \right]$$

حيث تم التعويض بما لا نهاية عن قيمة T_3 المقابلة لمستوى الضوضاء
٨٤ ديسيبل لأنه ليس لها حد زمنى .

$$\therefore D = 33.3 \%$$

وهنا مقبول صحيا .

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الرابع

الضوضاء التي منشؤها خارج المباني وطرق التحكم فيها

بالطريق العام

أشرنا في بداية الباب الأول (صفحة ٢) الى بعض المصادر الرئيسية
للزعاج الصوتي • أى الضوضاء بمعنى أى صوت غير مرغوب فيه من قِبَل المستمع •

ونود هنا ان نناقش بعض طرق التحكم فى مثل هذه الضوضاء بالنسبة
للأشخاص الموجودين بالطريق العام أساسا • وإذا ما تم ذلك التحكم سوف يكون
له — فى معظم الأحيان — الفائدة الكبرى أيضا بالنسبة للأشخاص الموجودين
داخل المباني •

وأهمية الحفاظ على مستويات منخفضة (بقدر الامكان) للضوضاء على
اختلاف مصادرها بالطريق العام تتبين لنا من :

١ — تحاشى التلف الممكن حدوثه للأذن بصفة خاصة وبقيّة أجهزة الجسم البشرى
(راجع الباب السابع) اذا ما كانت تلك الضوضاء عالية لمستوى

غير عادى وإذا ما زاد زمن التعرض لمثل هذه الضوضاء لفترات أطول —
المسموح بها طبيا (راجع مثال (٣-٢)) •

٢ — كلما علا مستوى الازعاج الضوضائى بالطريق العام أصبح التحكم فى الأمن العام
ضعيفا وعمّت ظواهر الفوضى فى المجتمع •

٣ — يجب العمل على الحفاظ على حق الشخص فى الهدوء الذى ينشده سواء وهو
متجه الى عمله أو بيته أو مدرسته أو المستشفى أو حتى وهو فى احد المتزهات
العامة •

التحكم فى الضوضاء عند المصدر وبفعل البعد بينه وبين المستمع :

مسألة التحكم فى الضوضاء تتضمن ثلاث عناصر هى :

مصدر الضوضاء — المستمع — المسار بين المصدر والمستمع

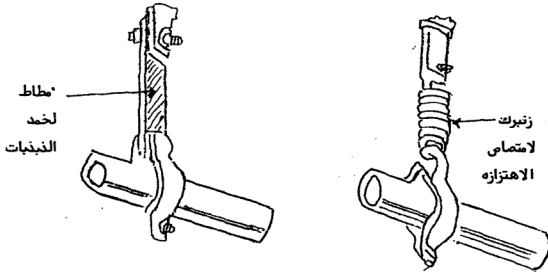
فى حالة الطريق العام تتمثل مصادر الضوضاء فى نوعيات المركبات التالية :

الموتوسيكلات — سيارات الركوب — عربات النقل — القاطرات (—سواء
المترو أو قطار (السكك الحديدية) • وتنشأ الضوضاء فى مثل هذه المركبات
من أجزاء عدة خاصة بها •

على سبيل المثال :

— الموتور : ويراعى فى تصنيعه تزويده بخامدات للذبذب والتالى خافى للوضاء الناتجة، مع مراعاة احكام غلق الغطاء الخاص بالموتور لعزل تلك الضواء با كبر قدر ممكن .

— مجموعة تصريف العادم : ويراعى فى تصنيعها تزويدها بمواد مُبْتَنة لها القدرة على امتصاص قدر كبير من الصوت الناتج عن حركة الغازات والابخرة الناتجة من احتراق الوقود . كما يراعى فى طرق تركيبها بالمركبة أن تُثبت بمجموعات من شأنها عزل الذبذبات الخاصة بها عن جسم المركبة اساليب



عزل حركة مجموعة تصريف العادم عن جسم المركبة

شكل (١-٤)

تشبه الموضحة في شكل (١-٤) . (كلنا نعلم الفرق الكبير في مستوى الضوضاء الصادر من مركبة عندما يتلف " الشاكامان " أو عند فتح غطاء الموتور - لذلك يجب على المسئول عن المركبة مراعاة ذلك لمساعد في خفض مستوى الضوضاء في الطريق العام) .

- مجموعة السحب .

- الاطارات او العجلات المُحْمَل عليها المركبة .

ولقد أوضحت التجارب أن جميع هذه الاجزاء تتصف بأن الضوضاء الصادرة من كل منها هي دالة لسرعة المركبة ٧ . وتحليل نتائج تلك التجارب أمكن التوصل الى العلاقات الرياضية اللازم إستخدامها لحساب مستوى الضوضاء تبعاً لنوعية المركبة الصادرة منها . وذلك على فرض أن الشخص يبعد عن المركبة مسافة قدرها ١٥ متر :

أ - ضوضاء الموتوسيكلات (ويلاحظ أنها تكون اكبر ما يمكن اثناء عملية التعجيل من سرعة صغيرة الى سرعات اكبر - بينما تأثير الاطارات يُمكن اهماله) :

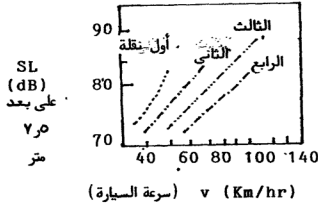
$$L = 77.5 + 25 \log \left(\frac{v}{88} \right) \quad \text{dB} \quad (4-1)$$

ب - ضوضاء السيارات والجزء الاكبر منها ناتج من الاطارات بجانب تلك الصادرة من الموتور وبقية أجزاء السيارة (يلاحظ أنه عند السرعات الصغيرة فمجموعة الدفع هي مصدر الضوضاء الرئيسي خصوصاً عند التعجيل السريع . بينما عند

السرعات العالية فان تفاعل الاطارات مع ارضية الطريق تصبح هي المصدر الرئيسي للضوضاء (:

$$L = 71.1 + 32 \log \left(\frac{v}{88} \right) \quad \text{dB} \quad (4-2)$$

والجدول التالي يلخص بعض النتائج الخاصة بضوضاء السيارات كدالة للتسودد بجانب متوسط مستواها وذلك بالنسبة لسرعتين مختلفتين الاولى منها ٥٦ كم/ساعة والثانية ٨٨ كم / ساعة :



التردد السرعة	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	المتوسط
٥٦ كم/ساعة	٦٥	٦١	٦٢	٦١	٥٧	٥٣	٦٥
٨٨ كم/ساعة	٧١	٦٨	٦٦	٦٨	٦٦	٦٠	٧٢

وبالنسبة لضوضاء عربات النقل فهي تزيد كثيرا عن تلك الصادرة من السيارات وتصل في المتوسط الى ٨٣ ديسيبل عند سرعة ٥٦ كم / ساعة . وحوالى ٩٠ ديسيبل للسرعات الاكبر من ذلك . اما الضوضاء الصادرة من القطارات فقد تصل الى ٩٥ ديسيبل (راجع تذييل ٣) .

بينما الطائرات النفاثة يصل مستوى الضوضاء الصادرة منها الى ١٢٠ ديسيبل بالنسبة للاشخاص على جانب الطريق وهي محلقة في الجو (في حدود زاوية ٩٠° بالنسبة لها) .

مثال (١-٤) :

احسب مستوى شدة الصوت (L_r) على بعد $r = ٣٠$ متر وكذلك
على بعد $r = ٦٠$ متر من سيارة يصدر منها ضوضاء بمستوى (L_{ref})
على البعد القياسي ($r_{ref} = ١٥$ متر) مقداره ٧٢ ديسيبل .

الحل :

حيث ان المطلوب مستوى شدة الصوت (L_r) على ابعاد مختلفة r
بالنسبة لسيارة واحدة . إذا علينا تطبيق العلاقة المبنية على أساس قانون التربيع
العكسي :

$$L_r = L_{ref} - 20 \log \left(\frac{r}{r_{ref}} \right) \quad (4-3)$$

$$= 72 - 20 \log \left(\frac{r}{15} \right)$$

$$\therefore L_{30} = 72 - 20 \log 2 = 72 - 6.02 = 66 \text{ dB}$$

$$, L_{60} = 72 - 20 \log 4 = 72 - 12.04 = 60 \text{ dB}$$

مثال (٢-٤) :

لنفرض أن كثافة المرور على احد الطرق السريعة تساوى ٩٠ سيارة ركوب فى الساعة وأن السرعة المتوسطة للسيارة ٧٥ كم / ساعة (أى أن المسافة المتوسطة بين كل سيارتين متتاليتين ٨٣ متر) • ومستوى الضوضاء على بعد $r_{ref} = ١٥$ متر عبارة عن ٧٢ ديسيبل • احسب مستوى الضوضاء على بعد ٣٠ متر وايضا ٦٠ متر •

الحل :

فى هذه الحالة علينا استخدام العلاقة المرتبطة بالتماثل الاسطوانى لمصادر الصوت المقابل لانبعث الطاقة الصوتية من صف السيارات المتلاحقة خلف بعضها البعض والتي تنمى على :

$$L_r = L_{ref} - 10 \log \left(\frac{r}{r_{ref}} \right) \quad (4-4)$$

$$\therefore L_{30} = 72 - 10 \log \left(\frac{30}{15} \right) = 69 \text{ dB}$$

$$, L_{60} = 72 - 10 \log \left(\frac{60}{15} \right) = 66 \text{ dB}$$

ملحوظة : فى هذا المثال والمثال السابق افترض عدم وجود جدار عاكس للطاقيــة الصوتية بالقرب من المستمع ولذلك استخدم قانون التربيع العكسى وقانون التناسب مع المسافة مباشرة .

مثال (٣-٤) :

قطار شحن بضائع بطول ١٤٠ كيلو متر يجبره قاطرتان ويصدر بذلك ضوضاء مستواها ٩٥ ديسيبل على بعد ($r_{ref} = ٣٠$ متر) منها . فعلى فرض أن كل ساعة يمر قطاران من هذه النوعية بسرعة متوسطة لكل منهما قدره ٥٤ كم / ساعة . احسب مستوى شدة الصوت على مسافة ٣٠ متر ، ايضا مسافة ٣٠٠ متر من شريط المسكة الحديد .

الحل :

العلاقة الرياضية التى تعطى مستوى شدة الصوت الناتج عن القاطرة عبارة عن :

$$(L_{eq})_{\text{قاطرة}} = 95 + 10 \log (t_d^{\text{الزمن}}) \text{ dB} \quad (4-5)$$

حيث $t_d =$ الفترة الزمنية المكافئة لمرور القاطرة بالنسبة لمستمتع مقدرة بالساعة .
وبالنسبة للضوء المادرة من عجلات القطار أثناء حركتها على قضبان السكة الحديد
فان :

$$(L_{eq})_{\text{الشريط الحديد}} = 85 + 10 \log (t'_d) \quad (4-6)$$

حيث $t'_d =$ الفترة الزمنية المكافئة لمرور القطار " بأكمله " بالنسبة للمستمتع
مقدرة بالساعة .

ولحساب t_d نلاحظ ان كل قطار مزود بقاطرتين وحيث ان كل ساعة يمر
قطاران اذا :

$$t_d = (\text{عدد القاطرات}) \times (\text{عدد القطارات في الساعة}) \times (\text{الزمن الذي تستغرقه القاطرة لتغطي المسافة المساوية لضعف طول الخط العمودي الواصل بين المستمتع وشريط السكة الحديد والذي يقابل تلك المسافة عند منتصفها}) \quad (4-7)$$

أى أن :

$$t_d = (2) \cdot (2) \cdot (4 \text{ sec}) = \frac{1}{150} \text{ hr}$$

وعلى ذلك فمستوى الضوضاء الناتجة من مرور القاطرتين امام المستمع عبارة عن :

$$(L_{eq}) \text{ قاطرتين} = 95 + 10 \log \left(\frac{1}{150} \right) = 73.2 \text{ dB}$$

أما بالنسبة للضوضاء الصادرة من قضبان السكة الحديد نتيجة مرور القطار الذي طوله ١٤ كيلو متر امام المستمع فان :

$$(L_{eq}) \text{ قطار} = t'_d \times (\text{ عدد القطارات التي تمر في الساعة }) \quad (4-8)$$

$$\therefore t'_d = (2) \cdot \left(\frac{1.4}{54} \right) = \frac{1}{19.2} \text{ hr}$$

$$\therefore (L_{eq}) \text{ عجلات القطار} = 85 + 10 \log \left(\frac{1}{19.2} \right) = 72.2 \text{ dB}$$

والآن عند حساب مستوى الضوضاء على بعد ٣٠٠ متر نطبق العلاقة الخاصة بخفض مستوى الضوضاء نتيجة البعد r (راجع مثال (٢-٤) :

$$(L_r)_{\text{قاطرة}} = (L_{eq})_{\text{قاطرة}} - 10 \log \left(\frac{300}{30} \right) = 63.2 \text{ dB}$$

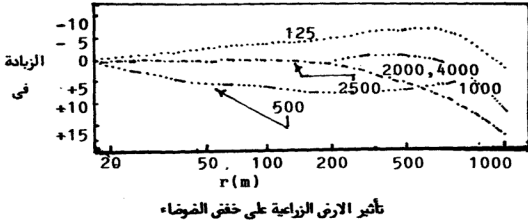
$$, (L_r)_{\text{قطار}} = (L_{eq})_{\text{قطار}} - 10 \log \left(\frac{300}{30} \right) = 62.2 \text{ dB}$$

ملاحظة: في حالة المسافات الكبيرة التي تفصل بين المصدر والمستمع يجب أخذ عاملين لخفض الضوضاء في الاعتبار • أولهما امتصاص الطاقة الصوتية بفعل جزيئات الهواء الجوي وهذا ما يوضحه الجدول التالي :

امتصاص الطاقة الصوتية بفعل جزيئات الهواء وتغيره مع تغير درجة الحرارة والرطوبة النسبية
(لكل ١٠٠٠ متر)

خفنى الطاقة الصوتية بالديسيبل						الشريط الثماني للتردد (هيرتز)
٢٠ مئوية			٢١ مئوية			
الرطوبة النسبية المئوية			الرطوبة النسبية المئوية			
٨٠	٦٠	٤٠	٨٠	٦٠	٤٠	
صفر	٦	١٠	٣	٣	٣	١٢٠٠ - ٦٠٠
٣	١٦	٣٣	٦	٦	١٣	٢٤٠٠ - ١٢٠٠
٣٣	٤٩	٤٩	١٦	١٦	٣٣	٤٨٠٠ - ٢٤٠٠
٨٢	١٣٠	٨٢	٤٩	٨٢	١٣٠	٩٦٠٠ - ٤٨٠٠

وثانيهما امتصاص الطاقة الصوتية بفعل الارضية الفاصلة بين المصدر والمستمع .
فانا كانت هذه الارضية ملبة كأن تكون خرسانية فان النقى الناتج عنها يمكن اهماله .
أما اذا كانت الارضية مغطاه بطبقة من الحشائش الخضراء يمكن استخدام المنحنيات
الموضحة فى شكل (٢-٤) .



شكل (٢-٤)

ملحوظة اخرى : اذا كان المستمع موجود بمحطة السكة الحديد ويوجد بالقرب منه جدار مبنى المحطة مثلا فانه يجب اخذ " اتجاهيه " المصدر في الاعتبار مثلما سيوضح فيما بعد .

التحكم فى الضوضاء فى الطريق العام باستخدام حاجز بين المصدر والمستمع :

يقصد بكلمة حاجز اى جسم صلب (طبيعى أو صناعى) يعترض الممر
الواصل بين منبع الضوضاء (قطار - سيارة - ماكينة خلط خرسانة ... الخ)
والمستمع (أناس داخل مستشفى - مدرسة - مبنى ادارى - مبنى سكنى ... الخ) .

معامل نفاذية الطاقة الصوتية (τ) لحاجز :

(Sound Transmission Coefficient)

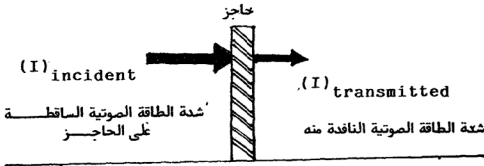
والعلاقة بينه وبين

معامل اختزال أو خفض الطاقة الصوتية (NR) لحاجز :

(Noise Reduction-by a Barrier)

معامل نفاذية الطاقة الصوتية لحاجز (τ) يُعرف بأنه " النسبة بين

شدة الطاقة الصوتية التي نفذت خلال الحاجز من احد سطحيه $(I)_{transmitted}$
الى شدة الطاقة الصوتية التي سقطت عليه أصلا من جانبه الآخر .



تعريف معامل النفاذية τ

شكل (٣-٤)

أى أن :

$$\tau = \frac{(I)_{\text{transmitted}}}{(I)_{\text{incident}}} \quad (4-8)$$

لذلك فإن ستارة رقيقة من القماش " مسامية " سوف تتصف بمعامل نفاذية كبير — (يَقرُب من الوحدة) بينما جدار مبنى بالطوب بسمك ٣٠ سم (ولا يحتوى على أية شروخ) يتصف بمعامل نفاذية صغير جدا (حوالى ٠.٢) — أما إذا كلن الجدار يحتوى على شقوق نافذة (ربما تكون خافية عن البصر) فإن معامل نفاذيته يصل ربما لقيمة ٠.٨٠ .

مثال آخر : أى باب مفتوح معامل نفاذيته للصوت يقرب من الوحدة وفى حالة غلقه يصبح معامل نفاذيته ٠.٥ .

مثال شائع آخر : غطاء موتور السيارة مُصمم بحيث يكون معامل نفاذيته لضوضاء محرك السيارة حوالى ٠.٥ فى حالة غلقه بإحكام . ولكن الوضع يختلف تماما إذا أُغلق باهمال .

ما سبق يتضح لنا أن كفاءة أى حاجز لعزل الضوضاء بين حيزين تتناسب عكسيا مع معامل نفاذيته للطاقة الصوتية . وهذا هو الاساس لتعريف خصوصية

أخرى لاى حاجز وهى : معامل خفى الصوت أو معامل اختزال الصوت (NR)
لحاجز ويُعرّف بالعلاقة التالية :

$$NR = 10 \log \frac{1}{f} \quad \text{dB} \quad (4-9)$$

مثال (٤-٤) :

- أ - فاصل من الخشب الرقيق الحُببى معامل نفاذيته يساوى ٠.٧٩ احسب معامل خفضه للضوء .
- ب - فاصل من الخشب الابلاكاش معامل نفاذيته يساوى ٠.٦٣ احسب معامل خفضه للضوء .
- ج - حاجز من الزجاج معامل نفاذيته يساوى ٠.١٠ احسب معامل خفضه للضوء .
- د - جدار من الطوب سمكه ١١ سم معامل نفاذيته ٠.٠٠٠٣ احسب معامل خفضه للضوء .

الحل :

باستخدام معادلة (4-9) لجميع الحالات المعطاه نجد أن :

(أ) في حالة الفاصل المصنوع من الخشب الحبيبي الرقيق :

$$NR = 10 \log \frac{1}{0.79} = 1.02 \text{ dB}$$

وهذا القدر من الخفض في الضوضاء لا تستطيع الأذن ملاحظة حدوثه .

(ب) في حالة الفاصل المصنوع من الخشب الأبلاكاش :

$$NR = 10 \log \frac{1}{0.63} = 2 \text{ dB}$$

وهذا القدر من الخفض في الضوضاء تبدأ الأذن الاحساس بتواجده .

(ج) في حالة الحاجز المصنوع من الزجاج :

$$NR = 10 \log \frac{1}{0.10} = 10 \text{ dB}$$

وهذا قدر كاف بدرجة معقولة لعزل الضوضاء من مكان الى مكان آخر .
ولذلك يستخدم في عمل واجهات المكاتب في البنوك وغرف الملاحظة في المصانع
وفي المستشفيات . وكذلك في بناء واجهات كبائن التليفون العمومي .

(د) في حالة الجدار الطوبى :

$$NR = 10 \log \frac{1}{0.00003} = 45 \text{ dB}$$

ولذلك فهو يحافظ على سرية المساكن الخاصة والمباني الادارية العامة . وهذا

بشرط :

- ١ - ان يكون خلواً من اى شروخ او شقوق .
- ٢ - أى مكان توجد فيه انابيب توصيل المياه مثلا خلال هذا الجدار . أو أى فتحات خاصة بتركيب جهاز تكييف فى هذا الجدار يجب ان يتم تقفيله تماما بمنتهى العناية والدقة .

تعيين معامل خفى الضواء NR :

(١) بطريقة عملية :

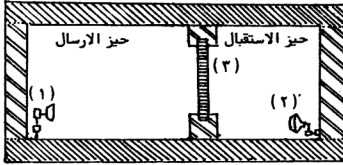
نلاحظ من العلاقة التى تربط بين NR ، ρ أنها تؤدي الى

الحقيقة التالية :

$$NR = 10 \log \frac{1}{\rho} = 10 \log \left[\frac{(I)_{\text{transmitted}}}{(I)_{\text{incident}}} \right]$$

$$\begin{aligned}
 NR &= 10 \log \frac{\left(\frac{(I)_{\text{incident}}}{I_o} \right)}{\left(\frac{(I)_{\text{transmitted}}}{I_o} \right)} \\
 &= (SIL)_{\text{incident}} - (SIL)_{\text{transmitted}} \\
 &= 20 \log \frac{\left(\frac{P_{\text{incident}}}{P_o} \right)}{\left(\frac{P_{\text{transmitted}}}{P_o} \right)} \\
 &= (SPL)_{\text{incident}} - (SPL)_{\text{transmitted}} \\
 &= L_{\text{inc}} - L_{\text{trans.}} = L_1 - L_2 \quad (4-10)
 \end{aligned}$$

وهذه العلاقة (4-10) هي الأساس لتعيين NR عمليا بتجارب بسيطة تُجرى بأسلوب يشابه الموضح بشكل (٢-٤) - إذ يتم قياس L_1 فى حيز الارسال أولا باستخدام اثنين من مكبرات الصوت وميكروفونات موضوعة عند اماكن متعددة داخلها لأخذ متوسط L_1 . ثم تُعاد القياسات بوضع الميكروفونات



- (١) مجموعة ارسال مستوى ضوضاء معين بشريط ترددى محدد .
(٢) مجموعة استقبال لقياس مستوى الضوضاء فى حيز الاستقبال
بعد نفاذها خلال عينة الحاجز تحت الاختبار (٣) .

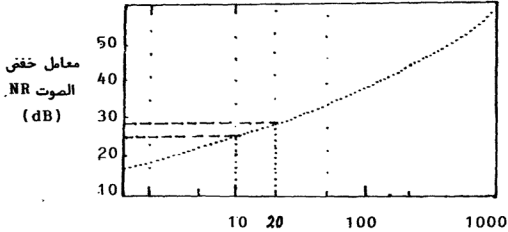
تعيين خفى الضوضاء باستخدام حاجز

شكل (٣-٤)

فى غرفة الاستقبال (دون تخيير ضبط الاجهزة الكهربائية عن ما كانت عليه فى الجزء الاول من التجربة وبذلك يتم تعيين L_2 . وكما هو موضح بالرسم فان حيز الارسال وحيز الاستقبال متلاصقين ويحيط بهما من كل جانب جدران سميكة وثقيلة بدرجة كافية ويفصلها جدار من نفس النوعية به فتحة تشابه النافذة الكبيرة **يركب** عليها العينة من الحاجز المطلوب التعرف على خصائصه من ناحية قدرته على خفى الصوت . وتتخذ القياسات بالاسلوب المنوّه عنه .

ويجب أن نلاحظ هنا أن الفرق $(L_1 - L_2)$ الذي يتم تعيينه بهذا الأسلوب يشمل تأثير الامتصاص الكلي A الذي يتصف به حيز الاستقبال بالنسبة للطاقة الصوتية التي يتم لها النفاذ خلال العينة . وأي فقد آخر يمكن أن يتواجد في هذا الحيز .

ولقد وُجد أن معامل خفنى الضوضاء (NR) يعتمد على العوامل التالية :



كتلة وحدة المساحات من الحاجز (كجم / متر²)

العلاقة بين معامل خفنى الصوت والكثافة

السطحية للحاجز

شكل (٤-٤)

١ - كتلة وحدة المساحات (m) من الحاجز ويوضح شكل (٤-٤) هـ هذه

الحقيقة • حيث يلاحظ ان زيادة (m) بعقدار الضعف تؤدي الى

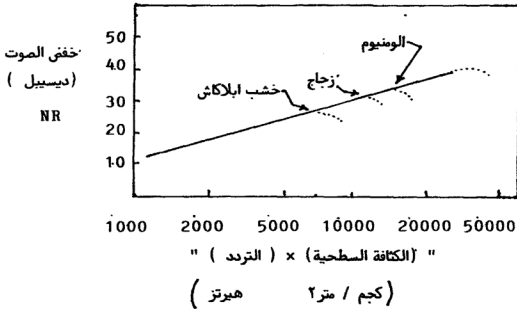
زيادة (NR) بحوالى ٥ ديسيبل •

٢ - القيمة الوسطية للشريحة الترددية (f هيرتز) من طيف الضوضاء

المتجهة ناحية الحاجز • وفي شكل (٤-٥) تُعطى المنحنيات التي تمثل

العلاقة :

$$NR = 20 \log (f.m) - 47 \quad \text{dB} \quad (4-11)$$



العلاقة بين حاصل الضرب (f.m) والمعامل NR

شكل (٤-٥)

وهنا ايضا كلما يزداد التردد (f) بمقدار الضعف فان (NR) تزيد

بحوالي ٥ ديسيبل .

٣ - قدرة المواد المكوّنة للحاجز على "خمد" ^{الطاقة} الصوتية - او امتصاصها جزئيا .

٤ - طبينة حافة الحاجز .

٥ - طبينة سطحية ^{الحاجز} او هل مغطى بطبقات لمساء او ستائر مثلا .

مثال (٤-٥) :

سور مدرسة مساحته الكلية ٤٠ متر ٢ عبارة عن جدار مبنى بالطوب

($\alpha = 0.00003$) ويشتمل على باب خشبي ($\alpha = 0.7$) مساحته

٨ متر ٢ وشباك زجاجي لغرفة الحارس ($\alpha = 0.1$) مساحته ٠.٧٥ متر ٢ . احسب

NR لهذا السور .

الحل :

حيث ان الحاجز يتكون من ثلاث اجزاء مختلفة المواد علينا أولا أن نحسب

معامل النفاذية المتوسط لهذا السور (α) وذلك بان نجمع حاصل ضرب مساحة

كل جزء (S_i) في معامل النفاذية الخاص بهذا الجزء (α_i) ثم نقسم الناتج

على المساحة الكلية للسور (S) أي أن :

$$\begin{aligned} f &= \frac{f_1 S_1 + f_2 S_2 + f_3 S_3}{S} \quad (4-12) \\ &= \frac{(0.0003 \times 35.25) + (0.7 \times 8) + (0.1 \times 0.75)}{40} \\ &= 0.142 \end{aligned}$$

$$\therefore NR = 10 \log \frac{1}{0.142} = 8.5 \text{ dB}$$

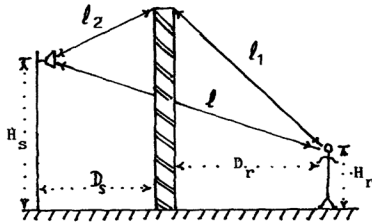
ثانياً : الطريقة الحسابية لتعيين NR :

هذه الطريقة تعتمد على الأبعاد الهندسية للحاجز والمسافات بينه وبين كل من المصدر والمستمع ولكنها لاتأخذ طبيعة المادة الصلبة المصنوع منها الحاجز في الاعتبار . ولكنها تؤدي الى نتائج مقبولة بحيث تكفى لأن يعتمد عليها المهندس المعماري أو المهندس الانشائي في تصميم وتنفيذ الحوائط والجدران المغروضة تواجهها في مشروع من المشروعات المرتبطة بأعمال التشييد والبناء .

وتتلخى هذه الطريقة في تحديد كل من :

- ارتفاع الحاجز (barrier) عن سطح الأرض . ولنرمز له بالرمز H_b
- ارتفاع المصدر (Sound Source) H_s " " " "

- ارتفاع المستمع H_r (receiver)
- بُعد المتلقي عن الحاجز D_r
- بُعد المصدر عن الحاجز D_s



الابعاد اللازمة لحساب عدد فرنل N لحاجز

شكل (٦-٤)

وبمعلومية هذه الابعاد يتم حساب ما يعرف بعدد فرنل N (Fresnel Number) وذلك باستخدام العلاقة التالية :

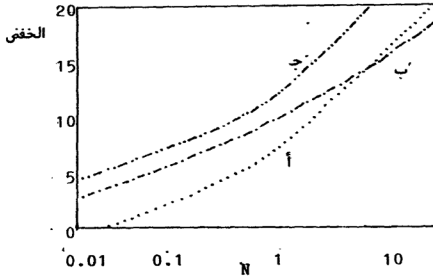
$$N = \frac{2 \delta}{\lambda} \quad (4-13)$$

لـ

حيث λ الطول الموجي للطاقة الصوتية • بينما δ هي الفرق بين المسار من المنبع للمستمع عن طريق حافة الجدار والمسار " البصرى " المباشر من المنبع الى المستمع مختصراً الحاجز أى أن هذا الفرق δ عبارة عن :

$$\delta = (l_1 + l_2) - l \quad (4-14)$$

والشكل التالى يعطى المنحنيات الثلاث التى تم بنائها والتى تربط بين قيم أبعاد فرنل والقيم المقابلة لخفى الضوضاء :



- أ - مصدر مفرد ملاصق لسطح الأرض •
- ب - مصدر متعددة يوالى بعضها البعض فى مسار واحد
- ج - مصدر مفرد مرتفع عن سطح الأرض •

خفى الضوضاء ككالة لعدد فرنل

شكل (٧-٤)

مثال (٦-٤) :

ماسورة العادم لاحد السيارات ينبعث منها ضوضاء طيفه كالموضح في الجدول التالي وذلك بالنسبة لاحد الاشخاص الموجود على بعد ٣٢,٥ متر من السيارة بدون اى عائق بينهما .

التردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
مستوى الضوضاء	٦١	٥٧	٥٧	٥٦	٥٥	٤٦

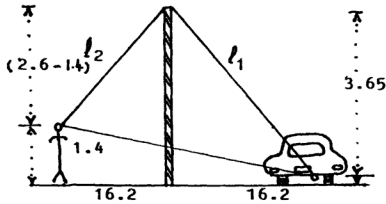
احسب قيم هذه المستويات لو حُذث أن هناك سور طويل سمكه ١٠ سم فى منتصف المسافة بين هذه السيارة وهذا الشخص . كذلك احسب الفرق بين متوسط مستوى الضوضاء فى الحالتين . علما بأن :

ارتفاع فوهة ماسورة العادم = ٣,٥ متر

ارتفاع الشخص = ١,٩ متر

ارتفاع السور = ٤,٠ متر

الحل :



$$l_1 = \sqrt{(3.65)^2 + (16.2)^2} = 16.6 \text{ m}$$

$$l_2 = \sqrt{(2.6)^2 + (16.2)^2} = 16.4 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{(1.05)^2 + (32.5)^2} = 32.5 \text{ m}$$

$$\therefore \delta = 33 - 32.5 = 0.5$$

ثم نحسب λ بمعلومية ($v = 340 \text{ m/s}$) والتردد كما هو معطى بالجدول عالىه . وبذلك نحصل على قيم عدد فرزل تبعا للعلاقة
 $(N = 28 / \lambda)$. وباستخدام شكل (٤-٧) نحمل على قِـيم
 خفى الضوضاء المقابلة لها . والجدول التالى يلخى هذه النتائج :

التردد (هيرتز)	عدد فرزل N	الخفى فى الضوضاء dB	مستوى الضوضاء الناتج dB
١٢٥	٠,٢٦٨	٩,٠	٦١ - ٩ = ٥٢
٢٥٠	٠,٢٢٥	١٠,٠	٥٢ - ١٠ = ٤٢
٥٠٠	١,٤٧١	١٢,٥	٥٢ - ١٢,٥ = ٤٤,٥
١٠٠٠	٢,٩٤١	١٥,٥	٥٦ - ١٥,٥ = ٤٠,٥
٢٠٠٠	٥,٨٨٠	١٩,٠	٥٥ - ١٩ = ٣٦
٤٠٠٠	١١,٧٦٠	٢٣,٠	٤٦ - ٢٣ = ٢٣

أما بالنسبة لحساب المتوسط فالجدول التالى يلخى هذه النتائج مع ملاحظة
 أنه بمعرفة مستوى الضوضاء L نحسب $(\log I/I_0)$ وهى عبارة
 عن $(L/10)$. ثم نعين I/I_0 المقابلة وبعد ذلك نحسب متوسط

(I/I_0) ومنها نحسب متوسط L :

حساب متوسط L للمستويات الاملية فى حالة عدم وجود الحاجز فسى
طريق الضوضاء المتجه الى المستمع

I/I_0	$\log I/I_0$	sIL
١٢٥٨٩٨٥,٤	٦,١	٦١
٥٠١١٨٧,٢	٥,٧	٥٧
٥٠١١٨٧,٢	٥,٧	٥٧
٣٩٨١٠٧,٢	٥,٦	٥٦
٣١٦٢٢٨,٠	٥,٥	٥٥
٣٩٨١١,٠	٤,٦	٤٦

$$٤٤٩٨٦٩,٧ = \frac{٢٦٩٩٢١٨}{٦} = (I/I_0) \text{ اذا متوسط}$$

∴ متوسط مستوى الضوضاء بدون تواجد الحاجز = ٥٦,٧ ديسيبل .

وبالنسبة لمتوسط L مع تواجد الحاجز فلدينا :

I/I_0	$\log I/I_0$	SIL
١٥٨٤٨٩ر٣	٥ر٢	٥٢ر٠
٥٠١١٨ر٧	٤ر٧	٤٧ر٠
٢٨١٨٣ر٨	٤ر٤٥	٤٤ر٥
١١٢٢٠ر١	٤ر٠٥	٤٠ر٥
٣٩٨١ر١	٣ر٦	٣٦ر٠
١٩٩ر٥	٢ر٣	٢٣ر٠

$$٤٢٠٣٢ = \frac{٢٥٢١٩٢ر٥}{٧} = (I/I_0) \text{ إننا متوسط}$$

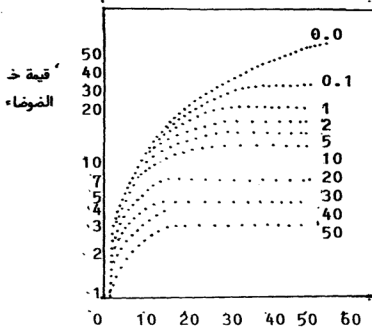
٠. متوسط مستوى الضوضاء مع تواجد الحاجز في طريقها للمستمع = ٤٦ ديسيبل .

أى أن الخفض الذى نتج لاعتراض الحاجز الطاقة الصوتية = ١٠ر٥ ديسيبل .

ملحوظة : للتعرف على الفرق في كفاءة نوعيات مختلفة (وشائعة الاستعمال) من الحواجز في خفض الضوضاء راجع جدول (٤ - ٧) .

سلسل	طبيعة الحاجز	NR (dB)
١	حائط مزدوج عبارة عن طبقة ٥ سم وطبقة ثانية ٥ سم ايضا وبينهما طبقة هواء سمكها ١٠ سم	٦٥
٢	حائط خرساني مُعاد التقوية (٣٠ سم)	٥٦
٣	حائط خرساني (١٥ سم)	٤٢
٤	حائط مبني بالطوب (١٠ سم)	٤١
٥	لوح صلب (٠.٦ سم)	٣٦
٦	لوح خشب ايلاكاش (١.٩ سم)	٢٨
٧	لوح زجاج (٠.٦ سم)	٢٦

بينما المنحنيات الموضحة في شكل (٤-٨) تُعطي نتيجة النقص في هذه الكفاءة لخفض حاجز للضوضاء إذا احتوى على نسبة معينة من مساحته الكلية في صورة شروخ وفتحات - وعلى سبيل المثال المنحنى المشار اليه بنسبة (صفر في المائة "٠.٠")



قيمة خفي الضواء في حالة عدم

وجود أي فتحات أو شقوق

في الحاجز (ديسيل)

شكل (٨٤)

يبين لنا انه اذا كان حاجز ما NR له تساوى ٤٠ ديسيل في حالة خلوه من الفتحات او الشقوق فان هذا الحاجز يصبح NR له ٣٠ ديسيل فقط انا احتوى على فتحات او شقوق مجموع مساحتها ٥٠ في المائة من مساحة الحاجز الكلية .

مثال (٧-٤) :

حاجز مساحته الكلية ٤٥ مترًا يتكون من جدار ٤٣ مترًا ومعامل خفسي الضوضاء له (وليس معامل النفاذية J) $NR = ٤١$ ديسيبل - وباب مساحته ١٣ مترًا ومعامل خفي الضوضاء له ٣١ ديسيبل - وناقذة مساحتها ٤٠ مترًا ومعامل خفي الضوضاء لها ٢٧ ديسيبل . احسب معامل خفي الضوضاء الفعلي لهذا الحاجز .

الحل :

بالنسبة للجدار :

$$J_1 = 1 / \left[\text{Antilog} \frac{41}{10} \right] = 0.000079$$

وبالنسبة للباب

$$J_2 = 1 / \left[\text{Antilog} \frac{31}{10} \right] = 0.000794$$

وبالنسبة للناقذة :

$$J_3 = 1 / \left[\text{Antilog} \frac{27}{10} \right] = 0.001995$$

وعلى ذلك :

$$J = \frac{[(0.000079 \times 43) + (0.000794 \times 1.6) + (0.001995 \times 0.4)]}{45}$$

$$= 0.000122$$

إنَّ معامل خفنى الضوضاء الفعلى $(NR)_{eff.}$ للحاجز عبارة عن :

$$(NR)_{eff.} = 10 \log \left(\frac{1}{0.000122} \right) = 39.1 \text{ dB}$$

ملحوظة :

يمكن بنفس الأسلوب أن نتبين أن فتحة صغيرة بأبعاد (٢م سم × ٢م سم) في جدار من الطوب معامل خفنى الضوضاء NR له يساوى ٥٠ ديسيبل تجعله يقل الى قيمة ٤٠ ديسيبل - بفرض أن مساحة الجدار (٢ر٤ متر × ٢ر٤ متر) .

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب الخامس

التحكم في مستويات الضوضاء داخل المباني

بالنسبة للتحكم في مستويات الضوضاء داخل المباني فإنها عملية المفـــــــرّوض
ان ترافق كلا من المراحل الخاصة بالمبنى بداية من اختيار الموقع المراد تشييد
المبنى عليه ثم مرحلة تصميمه ثم مرحلة بنائه ثم مرحلة التشطيبات المعمارية • وبعد
ذلك متابعة عمليات الصيانة الدورية الواجب اجرائها لكل مبنى • ويمكن تلخيص ذلك
فيما يلي :

١ - اختيار الموقع :

- تحاشي اقامة مستشفى او مدرسة او مبني سكّى بالقرب من منطقة
صناعية أو حتى بالقرب من احد المصانع •
- تحاشي اقامة مثل هذه المباني (مستشفى) بالقرب من
الطريق العام أو بالقرب من خطوط السكك الحديدية أو بالقرب من
المطارات لتجنب الازعاج اثناء عمليات الاقلاع والهبوط •

٢ - تصميم المبنى :

مثل هذا الاختيار للموقع إن لم يكن مكناً لندرة الأراضي الشاغرة والمتاحة لعمليات البناء سوف يضطر المهندس المسئول عن تصميم المبنى أن يتجه بهذا التصميم - منذ البداية - بما يحقق حماية المبنى من تسلسل الجزء الأكبر من الضوضاء الخارجية إلى داخل المبنى . وكذلك حماية جزء من المبنى من الضوضاء الصادرة من جزء آخر من نفس المبنى . فبدأ مثلاً فى تصميم اتجاه المبنى بما يحقق وسيلة مفيدة لتفادي مشاكل الضوضاء . ثم يقور استخدام مساحات المبنى الغير حساسة بالنسبة للضوضاء كدخول للمساحات الأكثر حساسية من التعرض المباشر لمصادر الضوضاء . فمثلاً :

- عَزَلُ فصول الدراسة بمعهد علمى عن الطريق العام أو مسار القطارات بساحة النشاط الرياضى بالمعهد . وأن تُحاط هذه الساحة بسور عال مبنى بالطوب .

- وَضْعُ أماكن التحميل فى الموانئ والمطارات على الناحية التى تتميز بوضوء أكثر ووضوء المكاتب الإدارية وما شابهها على الناحية الأكثر هدوءاً .

٣ - مرحلتى التشييد والتشطيبات المعمارية :

مرة أخرى منذ البداية يجب على المهندس المسئول عن تشييد المبنى

ان يكون على دراية كافية بمستويات ضغط الصوت فى المنطقة المحيطة بموقع المبنى وعلى اساس هذه الدراية يقرر ماهو أصلح بالنسبة الى :

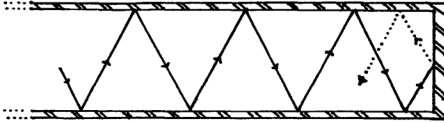
— طبيعة الجدران والحواجز التى تفصل بين مكونات المبنى بعضها عن بعضى .

— معاملة منابع الذبذبات والضوضاء داخل المبنى مثل المصعد ومجموعته الكهربائية وقنوات التهوية ووحدات التكييف وكذلك مواسير السباكة . كل هذه المنابع يراعى فى تركيبها ما يضمن خفض الضوضاء الصادرة من كل منها الى ادنى مستوى اذ أنها قد تكون مصدر ازعاج لجميع شاغلى المبنى (راجع صفحة (٩٩)) .

— يراعى فى اختيار نسب ابعاد الغرف والطرق والكمرات الخرسانية ما يضمن تحاشي حدوث ما يأتى على سبيل المثال :

١. صدى محدد للصوت يتميز بوضوئه الى أذن المستمع بفترة زمنية كافية بعد سماعها للصوت المباشر ويُعتبر صورة متأخرة للصوت المباشر . هذه الفترة الزمنية تكون فى حدود ٠.٦ ثانية أو أكثر وهى كافية ان يعبرُ الصوت مسافة فى الهواء حوالى ٢١ مترا . ولذلك اى جدار عاكس للصوت مُواجه لمصدره وعلى بعد اكبر من ١١ متر يُنتج هذه النوعية من صدى الصوت .

• صدى على هيئة صفير وهو ناتج من انعكاسات متعددة (شكل (١-٥)) للصوت سريعة ومحددة نتيجة انعكاس الصوت



انتشار الصوت مصحوب بصغير
نتيجة تعدد انعكاسه داخل طرفة

شكل (١-٥)

من اسطح متوازية قريبة من بعضها • ولكن نتيجة سرعة تنابعها يَمُغَّب الحكم بأنها صور للصوت المباشر - مثلما يحدث في بعض الطرقات العالية السقف (راجع صفحة ()) • والتي تتميز باتساع حوالى ٦ مترو أو أكثر •

• الاهتمام بدرجة كبيرة في مرحلة التشطيبات المعمارية بكل من تركيب و " تقفيل " النوافذ والابواب وكذلك جميع المواسير الخاصة بالمياه والصرف الصحي • اذ أن تواجد اى منفذ للهواء بجدران المبنى هو منفذ للضوضاء (راجع مثال (٤ - ٧)) •

• جَعَلَ سُك جدران المبنى المواجه للطريق العام اكبر من سلك الجدران الداخلية له • وكذلك انتقاء طبيعة الطبقات المغطية لواجهة المبنى بما

يحقق متطلبات الديكور المعماري وفي نفس الوقت تحمّلها للتقلبات الجوية مع كفاءتها في عزل الضوضاء .

• يراعى في البناء الداخلى للغرف نفس العناية من ناحية عدم وجود أي شقوق في الجدران والأرضيات حتى لا يتسرب الصوت من غرفة الى اخرى بين الوحدات السكنية المتجاورة في نفس المبنى . وفي شكل (٢-٥) يتضح تأثير وجود أي منافذ ما ذكر عاليه .

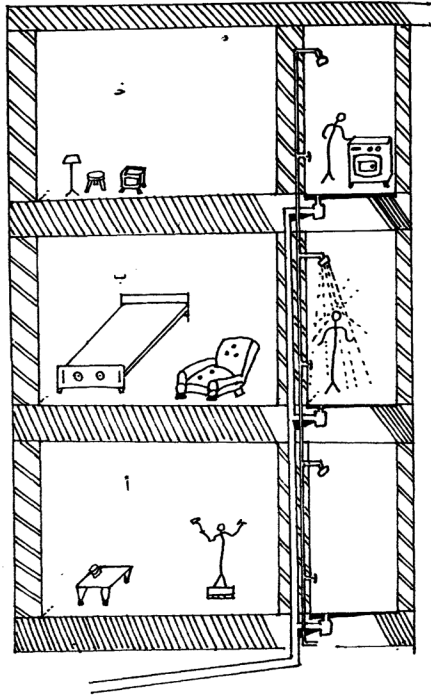
هذه الخطوات السالف الاشارة اليها كمحاولة للتحكم في الضوضاء داخل المبنى مطلوبة حتى يتسنى الوصول للوضع الأمثل بالنسبة لكفاءة أجزاء المبنى صوتيا بمعنى:

- إذا كان هذا الجزء من المبنى عبارة عن احدى الغرف فيتسنى لمن فيها التحدث والاستماع بطريقة طبيعية وغير مرهقة ولا يتسرب من هذا الحديث اى شيء لخارجها (مثال مهم هو حجرة الكشف الطبى فى العيادات سواء الخاصة او العامة .

مثال آخر : حجرة اجتماعات مجلس ادارة شركة .. وهكذا) .

- إذا كان هذا الجزء من المبنى عبارة عن مدرج لاستماع محاضرة (راجع مثال (٦ -)) فيتسنى للحاضرين تلقى كل كلمة من الشخص المحاضر بكل الوضوح بصرف النظر عن مكان المتلقى داخل المدرج - لذلك يراعى فى مثل هذه الاحوال بعض الاعتبارات الخاصة مثل عدم استخدام اعمدة خرسانية

مصادر ومسارات
ضوضاء شائعة
داخل المباني
السكنية عن طريق
الحدود والأرضيات
الفاصلة بين الوحدات
السكنية وكذلك عن
طريق مواسير المياه
ومواسير الصرف
الصحي .



- الوحدة السكنية أ ينبعث منها ضوضاء الى الوحدات ب ، ح عن طريق الجدران
(الضوضاء الناتجة من محاولة تثبيت مسامير وكذلك ضوضاء لعبة الطفل)
- الوحدة السكنية ب ينبعث منها ضوضاء نتيجة مياه الحمام وسريانها في المواسير بجانب
انتقال ضوضاء خبط الارضية
- الوحدة السكنية ح ينبعث منها ضوضاء نتيجة تشغيل ماكينة غسل الملابس

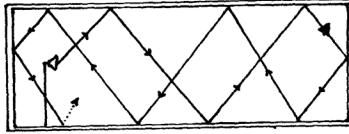
شكل (٢٥)

• حاملة في وسط القاعة •

- اذا كان هذا الجزء من المبنى عبارة عن قاعة لسماع الموسيقى او مسرح مثلاً يراعى ان يتحقق للمستمعين جميعا الاستمتاع لاقصى درجة بما يقدم فيها • فلا يكون هناك مناطق يتركز فيها الصوت بينما يخفت بدرجة غير مستحبة فى مناطق أخرى •

ويجب ان تتكامل تلك الخطوات بخطوات اخرى مرتبطة بأهم ميزة صوتية يتصف بها اى حيز او غرفة وهى المعروفة " بزمّن ارتداد الصوت " فى هذا الحيز او هذه الغرفة •

ويسهل فهم المقصود بارتداد الصوت "Sound Reverberation" بتشبيه انتشار الطاقة الصوتية من منبعها داخل الغرفة بنمط مسارات الاشعة الصوتية • ففي كل مرة تصطدم فيها " الاشعة " الصوتية بحدود الغرفة (او اى سطح يعترض مسارها) فانها ترتد جزئيا تجاه المجال الصوتى للغرفة • بينما يحدث للجزء الآخر من هذه " الاشعة " امتصاص داخل الجدران أو الاجسام التى اعترضتها اثناء مساراتها داخل الغرفة (راجع شكل (٣-٥)) ونتيجة توالى تلك الانعكاسات مع استمرار المنبع فى اصدار الصوت فان طاقة المجال الصوتى فى الغرفة يحدث لها بناء تدريجى فيعلو مستواها شيئا فشيئا الى ان يتساوى القعد



الانعكاسات المتتالية للصوت داخل حيز

شكل (٢-٥)

نتيجة الامتصاص (وكذلك نتيجة أى تسرب للصوت خارج الغرفة) مع ما يكتسب
نتيجة تزويد منبع الصوت • عندئذ يمكن اعتبار مستوى الطاقة الصوتية
" الارتدادية " (L_p ديسيبل) متجانس عند أى نقطة فى أرجاء الغرفة
وغير معتمد على بُعدها عن المنبع (بعكس الصوت المباشر الذى يعتمد على
البعد r) إذ أن جميع اتجاهات انتشار الطاقة الصوتية داخل الغرفة أصبحت
متساوية الاحتمال •

ولنحاول الآن رؤية ماذا يحدث عند توقف المصدر :

عند أى لحظة يتوقف فيها مصدر الصوت عن إطلاق الطاقة الصوتية فإن
انعكاساتها المشار إليها تستمر فى توالى ارتدادها ولكن تضعف شدتها شيئاً فشيئاً
الى أن يختفى الصوت تماماً •

هذه الإطالة في الصوت المسموع بعد توقف مصدره هي ما يقصد به " ارتداد الصوت " وقد صاغ العالم سابين عام ١٨٦٥ التعريف التالي لزمن ارتداد الغرفة :

زمن ارتداد الصوت لغرفة أو حيز (T_r أو T_{60}) :

هو الفترة الزمنية بالثواني اللازمة لكي ينخفض مستوى الصوت (L_r) = عند لحظة توقف المصدر بمقدار ٦٠ ديسيبل . أى انه الزمن اللازم لكي تنقش شدة الصوت (I_r) عند لحظة توقف المصدر الى أن تصبح $(10^{-6} I_r)$.

ولقد توصل العالم سابين الى العلاقة الأولى التالية نتيجة تجاربه التسمى أجراها في محاولة " لتحسين " الخصائص الصوتية لاحد قاعات الأوبرا

$$T_r = \frac{0.16 A_t}{V} \text{ sec} \quad (5-1)$$

حيث :

V = حجم الغرفة (متر^٣) .

A_t = مجموع الامتصاص للطاقة الصوتية داخل الغرفة نتيجة الجدران وأي

مسطحات اخرى داخل حيزها . وهذا يُقَدَّر بوحدة تسمى

" سابين المِترى " حيث اختيرت هذه الوحدة لتعبر عن "امتصاص "

الطاقة الصوتية الناتج من توجيهها ناحية نافذة مفتوحة مساحتها واحد متر مربع (بديهي كل مايصل هذه النافذة من طاقة صوتية لايرتد منه شيئاً و " يمتص " جميعه الى الناحية الأخرى من النافذة بنسبة مائة في المائة) .

وقد سبق الإشارة الى ان " معامل الامتصاص α " للطاقة الصوتية لأي مادة عبارة عن :

$$\alpha = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{الطاقة الصوتية التي تُمتص داخل} \\ \text{سطح المادة وتتحول الى طاقة حرارية} \end{array} \right]}{\left[\text{الطاقة الصوتية الساقطة على السطح} \right]} \quad (5-2)$$

إنَّ مجموع الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية داخل الغرفة A_t :

$$A_t = \sum_i \alpha_i S_i = \quad , S \quad (5-3)$$

لأنَّ القيمة المتوسطة $\bar{\alpha}$ لمعامل امتصاص الطاقة الصوتية داخل الغرفة منس التعريف عبارة عن :

$$= \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n}$$

$$= \frac{\sum_i \alpha_i S_i}{S} \quad (5-4)$$

حيث :

- S_i = مساحة السطح الذي رُمز له بالرمز i ما تشمله الغرفة — من جدار أو اجسام •
- α_i = معامل امتصاص مادة السطح i •
- S = المساحة الكلية للجدران و " الاجسام " داخل الغرفة (بما فيها من أشخاص) •
- n = العدد الكلي للأسطح داخل الغرفة التي يحدث عندها جزئيات الامتصاص للطاقة الصوتية •

استنتاج معادلة سابيين (Sabine's Formula) :

من معادلة (5-2) نلاحظ أن المعنى الفيزيائي للمعامل المتوسط $\bar{\alpha}$ يوضح أنه في كل مرة تصطدم طاقة صوتية مقدارها E بجميع العوائق داخل الغرفة يحدث امتصاص لجزء منها يساوي $(\bar{\alpha} E)$ بينما يرتد الجزء الباقي

وهو $[E (1 - \bar{\alpha})]$ داخل المجال الصوتي في الغرفة .

ولقد سبق أن رأينا ان ضغط الصوت (P) يتناسب مع الجذر التربيعي لشدة الصوت (I) - معادلة (2-13) - معنى ذلك أن :

$$\frac{P_r}{P_i} = \frac{[\text{ضغط الصوت المنعكس أو المرتد}]}{[\text{ضغط الصوت الساقط}]} = \sqrt{\frac{E(1 - \bar{\alpha})}{E}}$$

$$\therefore \frac{P_r^2}{P_i^2} = (1 - \bar{\alpha})$$

إذاً يصاحب كلا من الانعكاسات المتتالية انخفاضان لمستوى الصوت عبارة عن
:- (Sound Reduction per reflection, S.R.P.R.) -

$$\begin{aligned} \text{S.R.P.R.} &= 10 \log_{10} \frac{I_i}{I_r} = 10 \log \frac{P_i^2}{P_r^2} \\ &= 10 \log \left[\frac{1}{1 - \bar{\alpha}} \right] \quad \text{dB} \quad (5-5) \end{aligned}$$

وإذا رمزنا لعدد الانعكاسات التي تحدث خلال ثانية واحدة بالرمز N_r (يكون لدينا :

$$N_r = \frac{\left[\begin{array}{l} \text{مجموع المسافات التي تغطيها المراتر الصوتية في الثانية} \\ \text{الواحدة} - \text{اى سرعة الصوت فى الهواء} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{l} \text{متوسط المسافة بين انعكاسين متتاليين} - \text{اى متوسط} \\ \text{المسار الحر (mfp) للطاقة الصوتية} \end{array} \right]} \quad (5-6)$$

حيث يعرف المتوسط الحر للمراتر (mfp) بالعلاقة :

$$\frac{\left[\begin{array}{l} \text{اربعة امثال حجم الغرفة (V)} \end{array} \right]}{\left[\begin{array}{l} \text{مجموع المساحات المعرضة للصوت (S)} \end{array} \right]} = \text{mfp}$$

$$\therefore N_r = \frac{vS}{4V} \quad (5-7)$$

ومعنى ذلك ان معدل تلاشى الطاقة الصوتية المتعددة الانعكاس (Sound

Decay Rate) بعد توقف المنبع يكون مساويا لحاصل ضرب (N_r)

فى (S.R.P.R.) :

$$\therefore \text{Decay Rate of Reverberent Sound} = (N_r) \cdot (\text{S.R.P.R.})$$

$$= \left(\frac{vS}{4V} \right) \cdot \left[10 \log \left(\frac{1}{1 - \alpha} \right) \right] \text{ dB/Sec.}$$

$$(5-8)$$

وهذا معناه بالتالى أن زمن الارتداد (T_{60} أو T_r) - وهو -
الزمن اللازم لى ينخفض مستوى الصوت المتعدد الانعكاس بحقلار ٦٠ ديسيبل بعد
توقف مصدره - يكون عبارة عن حاصل قسمة هذا القدر من الانخفاض فى مستوى
الصوت - (٦٠ ديسيبل) - على معدل تلاشى الطاقة الصوتية (Decay Rate):

$$\therefore T_r = T_{60} = 60 / \left[\left(\frac{vS}{4V} \right) \cdot \left(10 \log \frac{1}{1 - \bar{\alpha}} \right) \right]$$

$$\therefore T_r = T_{60} = \frac{4 \times 60 \times V}{(S \cdot v) \cdot \left(10 \log \frac{1}{1 - \bar{\alpha}} \right)} \quad (5-9)$$

وهذه العلاقة تُنسب الى العالم أيرنج (Eyring) . وتُختزل الى صورة مبسطة
فى حالة صِغَر المعامل $\bar{\alpha}$ بالنسبة للواحد الصحيح (أو أ.ر. مثلا) بتطبيق
نظرية ذات الحدين لتصبح :

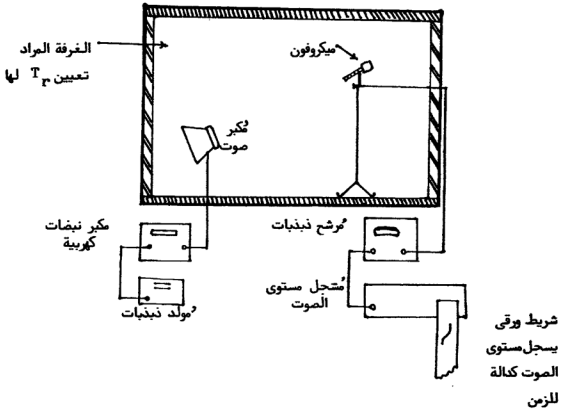
$$T_r = T_{60} = \frac{4 \times 60 \times V}{S \cdot v \cdot \bar{\alpha}} \quad (5-10)$$

وبالتعويض عن سرعة الصوت v بقيمتها (٣٣٤ متر / ثانية) وكذلك حاصل
الضرب ($S \cdot \bar{\alpha}$) بما يساويه وهو A_t :

$$\therefore T_r = T_{60} = \frac{0.16 V}{A_t} \quad (5-11)$$

وهى معادلة سابين .

تعيين زمن الارتداد (T_{60} أو T_r) لغرفة عمليا :



رسم توضيحي

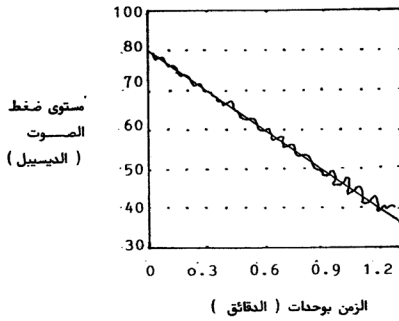
لمجموعة الجهاز المستخدم في تعيين زمن الارتداد لغرفة

شكل (٥٤)

بتهيئة مجموعة من الأجهزة بالاسلوب الموضح بشكل (٤-٥) يمكن تعيين T_p وهى تضم مايلى :

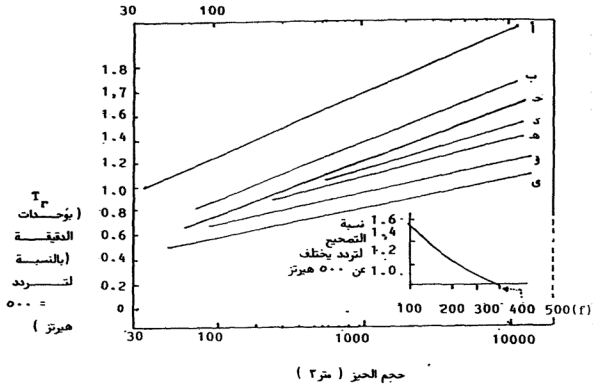
- مكبر صوتى متجه ناحية أحد جدران الغرفة المراد تعيين T_p لها .
- ميكروفون موجه لالتقاط الاصوات المنعكسة دون الصوت المباشر .
- مولّد نبضات لتغذية مكبر الصوت عن طريق مكبر نبضات كهربية .
- مرشح نبضات كهربى .
- مسجل نبضات تتناسب سعاتها مع مستوى الصوت الذى يلتقطه الميكروفون مزود بشريط ورقى ملقوف على بكرة تُدار كهربيا بسرعة معينة منتقاه تبعاً لظروف التجربة . وبذلك يتم تسجيل مستوى الصوت ككثالة للزمن وممن ثم معرفة معدل انخفاض مستواه وبالتالي حساب T_p (راجع مثال (٥ - ١)) - ويوضح شكل (٥-٥) نموذج للمنحنى الذى ينتج فى مثل هذه التجارب .

ولقد أوضحت القياسات المختلفة على النمط المذكور اعلاه ان أنسب قيم لزمن الارتداد (T_p) لنوعيات مختلفة من الأماكن المغلقة التى تستخدم لأغراض متباينة - مثل دور العبادة وأماكن التدريس... الخ تتبع المنحنيات الموضحة بشكل (٦-٥) .



نموذج لانخفاض مستوى الصوت الارتدادى

شكل (مـه)



- أ - دور العبادة
ب - أماكن اذاعة الموسيقى السيقونية
ج - دار الأوبرا
د - مدرج بالجامعة
هـ - غرف استماع موسيقى
و - دار سينما
ز - قاعة اجتماعات
- أما المنحنى الصغير فيستخدم لتصحيح قيمة T_r المشتقة من المنحنيات
(أ و ب و ج و د و هـ و ز) في حالة أن f يختلف عن ٥٠٠ هيرتز .

شكل (٦-٥)

تعيين معامل امتصاص الطاقة الصوتية (α) للمواد المستخدمة في المعالجات

الموتية :

هذا يتم باستخدام نفس الجهاز المستخدم لتعيين زمن ارتداد الصوت لغرفة

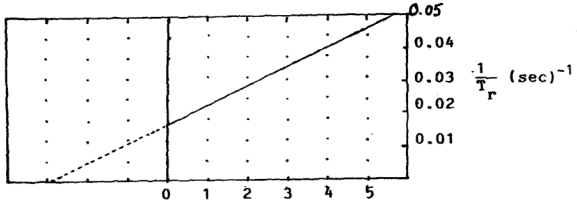
(T_r) وذلك بان تُرود الغرفة بنافاذة يمكن التحكم في مساحة فتحها تدريجيا .
ثم تُجرى الخطوات التالية :

- يتم تعيين T_r للغرفة بعد وضع العينة من المسطح المراد تعيين لامتته داخلها . ولنفرض ان مساحة العينة A_{sp} .
- يتم اخراج هذه العينة من الغرفة ثم تُصَبط مساحة فتحة النافذة حتى تصبح قيمة T_r هي نفس القيمة في الخطوة السابقة اثناء تواجد العينة داخل الغرفة . ولنفرض ان مساحة فتحة النافذة التي حققت ذلك هي A_{op} فيكون لدينا :

$$(\text{مساحة فتحة النافذة}) \cdot (\text{واحد صحيح}) = (\text{مساحة سطح العينة}) \cdot \alpha$$

$$\therefore \alpha = \frac{A_{op}}{A_{sp}} \quad (5-12)$$

ملحوظة : باستخدام عدة مسطحات من نفس المادة المراد تعيين α لها يتم تعيين قيم مختلفة لزمن الارتداد T_r لنفس الغرفة ويرسم منحني كالمبين في



مساحة العينة (متر ٢)

تعيين لعينة واستنتاج مساحة العينة التي تكافئ
الامتصاص الطبيعي لجدران الغرفة التي تمت بها القياسات

شكل (٧-٥)

شكل (٧-٥) بين $(1 / T_p)$ ومساحة سطح العينة حيث يكون المنحنى على
هيئة خط مستقيم تبعاً لمعادلة سابين . ويلاحظ ان الخط المستقيم يقابل المحور
الافقى عند نقطة تقابل مساحة عينة مكافئة للامتصاص الطبيعي لجدران الغرفة .

والجدول التالى يعطى لبعض النماذج التي تُقَابَلُ فى صوتيات المباني قيسم

المعامل α المقابلة لترددات صوتية مختلفة .

نوعية السطح المعتمدى للطاقة الصوتية							التردد
٤٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٢	
-	٠.٠٢	-	٠.٠١	-	٠.٠١	-	الماء (كما في حمامات السباحة - الرخام
٠.٠٥	٠.٠٥	٠.٠٤	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٢	٠.٠٥	حائط خرساني او حصى خرسانية
٠.٠٥	٠.٠٤	٠.٠٣	٠.٠٢	٠.٠٣	٠.٠٣	٠.٠٥	حائط مبني بالطوب مغشى بطبقة من المونة
-	-	٠.٠٢	-	٠.٠٤	-	٠.١٠	سطح زجاج كبير بسكّار ٠ سم
٠.١٠	٠.١٠	٠.١٠	٠.١٠	٠.٢٠	٠.١٥	٠.١٠	جدل خشبي
٠.٣٠	٠.٢٥	٠.٢٠	٠.١٥	٠.١٠	٠.٠٥	٠.٠٥	ستارة سميكة ملاصقة لحائط
٠.٣٠	٠.٣٠	٠.٠٣	٠.٢٥	٠.١٥	٠.١٠	٠.٠٥	سجادة صوف على ارضية خرسانية
٠.٣٠	٠.٣٠	٠.٣٠	٠.٣٠	٠.٢٥	٠.٢٠	٠.١٥	سجادة صوف على ارضية خشبية
-	٠.٧٠	-	٠.٥٠	-	٠.١٥	-	غطاء اسبستوس ملاصق جدار
٠.١٠	٠.١٠	٠.١٠	٠.٢٠	٠.٣٠	٠.٥٠	٠.٩٠	طبقة مزدوجة من البوبلين (٢ كجم/متر ²)
٠.١٠	٠.١٠	٠.١٠	٠.٢٠	٠.٣٠	٠.٥٠	٠.٩٠	بفازل هوائية سلك ٢٥ سم
-	٠.٤٥	٠.٦٥	٠.٨٠	٠.٧٠	٠.٤٥	-	غطاء مبطن للجدار مصنوع من البلاستر
-	٠.١٨	-	٠.١٥	-	٠.٠٨	-	الصامى ملى على بعد ١٢ سم
-	٠.٤٤	-	٠.٤٠	-	٠.١٦	-	مقعد خشبي شافر
-	٠.٣٢	-	٠.٢٨	-	٠.١٢	-	مقعد خشبي يجلس عليه شفى متوسط الحجم
٠.١٠	٠.٢٠	٠.٣٠	٠.١٠	٠.٨٠	٠.٢٧	٠.١٨	مقعد منجد شافر
٠.١٠	٠.٢٠	٠.٣٠	٠.١٠	٠.٨٠	٠.٢٧	٠.١٨	عضو فرقة موسيقية مع آلة الموسيقى

مثال (١-٥) :

فى احد التجارب لتعيين T_m كانت سرعة تحريك ورق شريط التسجيل
(راجع شكل (٤-٥)) ٣٠ ملليمتر/ثانية . وبعد ان تحرك الشريط مسافة
٢٧ ملليمتر بهذه السرعة اتضح ان مستوى الصوت هبط بمقدار ٣٠ ديسيبل . احسب
زمن الارتداد T_m بفرض ان التردد ٢٠٠٠ هيرتز .

الحل :

بما ان سرعة ورق المسجل = ٣٠ مم / ثانية

إذاً ١ مم يقابل زمن ٣٠/١ ثانية

وعليه فان ٢٧ مم تقابل زمن $(\frac{1}{30} \times 27) = 0.9$ ثانية .

وبما ان خلال هذه الفترة (٠.٩ ثانية) حدث نقص بمقدار ٣٠ ديسيبل فى

مستوى الصوت .

هذا معناه أن الزمن T_m الكافى لأن يحدث نقص فى مستوى الصوت

بمقدار ٦٠ ديسيبل = $0.9 \times \frac{60}{30} = 1.8$ ثانية .

مثال (٢-٥) :

احسب مجموع الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية داخل غرفة بالمواصفات التالية
(فى المدى ٣٠٠ - ٦٠٠ هيرتز) :

حجم الغرفة ٦٠ متر ٣ ، مساحة طبقة من الجدران المغطاه بالابلاكاش ٢٠ متر ٢
($\alpha = ٠.١$) — مساحة الارضية المغطاه بالسجاد ٢٠ متر ٢ ($\alpha = ٠.٣$)
— مساحة الجدران المبنية بالطوب ومغطاه بالمونة ٥٠ متر ٢ ($\alpha = ٠.٠٢$) —
مساحة النافذة الزجاجية ١٠ متر ٢ ($\alpha = ٠.١$) مع وجود ٥ اشخاص جالسين
على كراسى خشبية ($\alpha_i S_i$ تُعتبر ٠.٤ سابين) امانا يحدث لمستوى الصوت
انا حدث ان اصبح الامتصاص الكلى ضعف القيمة التى وجدتها ؟

الحل :

المادة	المساخية S_i	α_i	الامتصاص $\alpha_i S_i$
الجدار الابلاكاش	٢٠	٠.١	٢
السجاد	٢٠	٠.٣	٦
الجدار المبنى بالطوب ومغطى بالمونة	٥٠	٠.٠٢	١
النوافذ	١٠	٠.١	١
الاشخاص (٥ x ٠.٤)	—	—	٢

$$\text{المجموع} = \sum S_i \alpha_i = 12 \text{ سابين مترى}$$

وحيث ان شدة الصوت المرتد يتناسب عكسيا مع مجموع الامتصاص A_E داخل الغرفة فان هذا يعنى أنه إذا زادت A_E بمقدار الضعف فان مستوى الصوت ينقي بمقدار ٣ ديسيبل (ناتجة من ١٠ لوغاريتم ٢) .

مثال (٣-٥) :

حجرة حجمها ٤٣٥ متر مكعب ومجموع مساحة الارضية والسقف وجدرانها ٤١٥ متر مربع ، احسب زمن الارتداد لها على فرض ان α زيدت من ٠.٨٥ الى ٠.٩٢ . مستخدما فى حساباتك :

أ - معادلة ايرينج

ب - معادلة سابين .

الحل :

أ - تنص معادلة ايرينج على :

$$T_R = \frac{4 \times 60 \times V}{(S \cdot \alpha) \cdot (10 \log \frac{1}{1 - \alpha})}$$

$$\therefore (T_r)_1 = \frac{(240) \cdot (435)}{(415) \cdot (335) \cdot (10 \log(\frac{1}{1 - 0.085}))} = 17.95$$

$$, (T_r)_2 = \frac{(240) \cdot (435)}{(415) \cdot (335) \cdot (10 \log(\frac{1}{1 - 0.42}))} = 0.317$$

ب - باستخدام معادلة سابقين

$$(T_r)_1 = \frac{0.16 \text{ V}}{S} = \frac{(0.16) \cdot (435)}{(415) \cdot (0.085)} = 1.97 \text{ sec.}$$

$$, (T_r)_2 = \frac{(0.16) \cdot (435)}{(415) \cdot (0.42)} = 0.4 \text{ sec.}$$

مستوى الصوت داخل غرفة دون توقف المصدر :

في هذه الحالة يكون الصوت المباشر (الصادر من المنبع) متواجد بمستوى (L_d) يعتمد أساسا على طبيعة المصدر . وعلى البعد r للنقطة المراد حساب مستوى الصوت الكلي (L_{tot}) من المصدر ويمكن حسابه بواسطة العلاقة التالية :

$$L_d = L_w - 20 \log_{10} r - 10.9 \quad (5-13)$$

حيث ترمز L_w الى قدرة منبع الصوت مقدرة بالديسيبل بالنسبة " لقدرة واحد بيكو وات " ، هذا التواجد يُصاحبه بالطبع الصوت المتعدد الانعكاسات وفي هذه الحالة يتم حساب مستواه L_r من العلاقة التالية :

$$L_r = L_w - 10 \log A_r + 6 \quad (5-14)$$

- على أساس أن هذا المستوى متجانس في جميع أرجاء الغرفة تحت الظروف الآتية :
- أبعاد الغرفة تتميز بنسب منتظمة بمعنى أن البعد الأطول لأرضية الغرفة لا يتعدى خمس أمثال ارتفاع سقفها .
 - حدود الغرفة غير منتظمة .
 - المعامل المتوسط $\bar{\alpha}$ لامتصاص الطاقة الصوتية أقل من ٠.٣ .

- منبع الصوت ينبعث منه طيف لا يحتوى على مركبات توافقية ذات ترددات عالية .

- النقطة التى تبعد عن المنبع المسافة r فى معادلة (5-14) غير قريبة من جدران الغرفة .

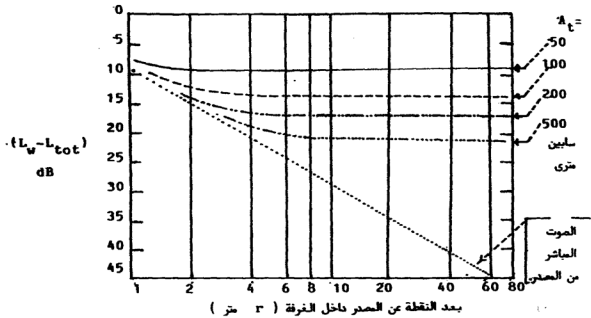
ولحساب المستوى الكلى للصوت L_{tot} نتيجة (L_d) ، (L_r) ،
نطبق الاسلوب المعتاد الذى درسناه قبلا لجمع الديسيبل (راجع صفحة ٨٧) .

المعالجة الصوتية لغرفة عن طريق تغيير A_t الخالى بها :

لنفرض أن غرفة قبل معالجتها صوتيا كانت تتميز بمجموع امتصاص $(A_t)_{bef}$ سابين مترى ثم تمّ لها بعض المعالجات الصوتية بتبطين جدرانها او تغطيتها جزئيا بأغطية وستائر مناسبة بحيث أصبح مجموع الامتصاص داخل الغرفة بعد هذه المعالجة $(A_t)_{aft}$. فى هذه الحالة يحدث خفض فى مستوى الصوت $(L.R.)$ لهذه الغرفة تبعا للعلاقة التالية :

$$L.R. = 10 \log_{10} ((A_t)_{aft} / (A_t)_{bef}) \quad (5-15)$$

وفى شكل (٨-٥) توضح المنحنىات التى تربط بين البعد عن مصدر الصوت داخل غرفة والفرق بين مستوى قدرة المنبع بالديسيبل (بالنسبة لقدرة ١ بيك وات) ومستوى الصوت الإجمالى عند تلك النقطة وذلك بفرض ان A_t قيمها ٥٠ ، ١٠٠ ، ٢٠٠ ، ٥٠٠ سابين مترى .

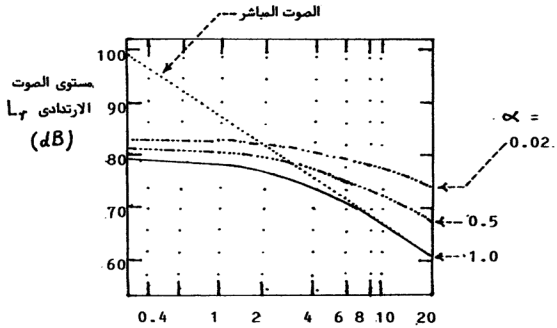


يتضح من هذه المنحنيات أنه بالقرب من مصدر الموت داخل الغرفة يمثل الصوت المباشر الجزء الأكبر من المستوى الكلي للطاقة الصوتية التي تصل للمستمع. وكلما زادت المسافة التي بينه وال منبع فإن أهمية هذا الموت المباشر بالنسبة له تقل تدريجياً (كما يقل المستوى الكلي للموت L_{tot} بدليل أن الفرق $(L_w - L_{tot})$ يزداد مع أن L_w ثابتة) إلى أن يصبح في النهاية L_{tot} مساوياً L_r وهو مستوى الصوت الارتدادى الناتج من تعدد الانعكاسات كما أعرفنا قبل ذلك بشئ من التفصيل .

شكل (٨٥)

بينما في شكل (٩-٥) يتضح تغير L_p كدالة للمعامل

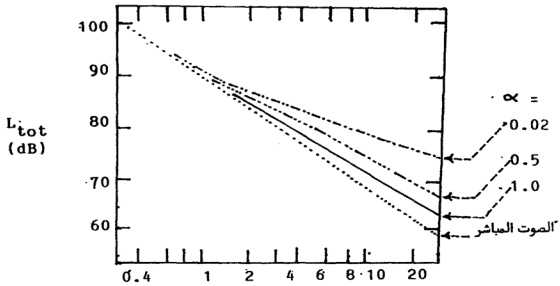
وفي شكل (٩-٥) تغير L_{tot} كدالة لنفس المعامل .



(المسافة بين المصدر والمستمع داخل الغرفة) - r (metre)

تأثير قيمة المعامل α على مستوى الصوت الارتدادي L_p .

شكل (٩-٥)



(المسافة بين المستمع والمصدر داخل الغرفة) - r (metre)

تأثير قيمة المعامل α على المستوى الكلي للصوت المباشر والمرتد

شكل (١٠-٥)

مثال (٢-٥) :

في احدى الغرف الغير معالجة صوتيا تميز طيف الضوضاء بها بالمستويات المعطاه في الجدول التالي :

التردد f (هيرتز)	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
$L_{\text{bef}}(f)$ (ديسيل)	٦٦,٩	٧٢,٤	٧٥,٨	٧٧	٧٦,٢	٧٣
$\alpha(f)$ (-)	٠,١٥	٠,٤٠	٠,٨٥	٠,٩٠	٠,٨٠	٠,٧٠

وبنفس الجدول معطى قيم α للمادة التي تم تغطية ٤٠ في المائة من مساحة جدران الغرفة كمحاولة لتحسين هذه الغرفة صوتيا . احسب التخفيض الناتج فى مستوى الضوضاء الارتدادية نتيجة تلك المعالجة . علما بأن α قبل المعالجة الصوتية للجدران قيمته ٠,٥ .

الحل :

بما أن تغطية الجدران تمت بنسبة ٤٠٪ من مساحتها الكلية اذا التخفيض

فى مستوى الضوضاء نستطيع ايجاد قيمته لكل من قيم f المعطاه بالتعويضى فى
معادلة (15 - 5) • وللجدول التالى يلخى الحسابات الناتجة :

التردد f (هيرتز)	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
$L_{R.O.}(f)$ (ديسيبل)	-٢٦	-٥٨	-٨٧	-٨٩	-٨٠	-٧٩
$L_{aft}(f)$ (ديسيبل)	٦٤,٣	٦٦,٦	٦٧,١	٦٨,١	٦٧,٧	٦٥

وباتباع الاسلوب الذى رأيناه فى حل مثال (٤ - ٦) نجد ان متوسط
الضوضاء الارتدادية قبل وبعد المعالجة الصوتية هى على التوالى ٧٤,٤ ديسيبل ،
٦٦,٦ ديسيبل • إذاً الاختزال الحادث فى مستوى الضوضاء نتيجة تغطية ٤٠%
من الجدران بالمادة المنتقاه

$$= ٧٤,٤ - ٦٦,٦ = ٧,٩ \text{ ديسيبل} \bullet$$

وبذلك تعتبر هذه المعالجة لهذه الحالة ناجحة بدرجة حسنة •

مثال (م٤) :

صالة بها خمس ماكينات القدرة الصوتية لكل واحدة منها واحد مللي وات (أى أن مستوى قدرة كل منها ٩٠ ديسيبل) بالنسبة لقدرة واحد بيكو وات (على مسافات ٣ و ٤ و ٥ و ٦ و ٧ متر من المُشرف على العمل) . إحصى المستوى الكلى للصوت L_{tot} الناتج من اضافة الصوت المباشر الصادر من كل ماكينة الى الصوت الارتدادى . وذلك على فرض أن :

- الامتصاص الكلى A_t يساوى ١٢ سابين مترى .
- الامتصاص الكلى A_t يساوى ٨٧ سابين مترى .

الحل :

من المعادلة الخاصة بحساب مستوى الصوت المباشر عند المستمع الصادر من

منبعه :

$$L_d = L_w - 20 \log r - 10.9 =$$
$$= 90 - 20 \log_{10} 3 - 10.9 = \text{dB}$$

وبالمثل بالنسبة للماكينات الاربعة الاخرى ، والجدول التالى يلخى ناتج

هذه الحسابات :

المسافة r	٣	٤	٥	٦	٧
مستوى الصوت المباشر L_d	69.6	67.1	65.1	63.5	62.2

إننا L_d الكلية نحسبها بنفس النمط الذي درسناه وهي :

$$(L_d) = 73.3 \quad \text{dB}$$

وبالنسبة للصوت الارتدادى فنلاحظ أن مستوى القتره للماكينات الخمسة

$$(L_w)_{tot} \quad (\text{راجع مثال } (5-2))$$

$$(L_w)_{tot} = 90 + 10 \log 5 = 97 \quad \text{dB}$$

وبأخذ الامتصاص الكلى A_t بقيمة ١٢ سا بين مترى فيكون مستوى الصوت

الارتدادى L_r عبارة عن (معادلة (5-14)) :

$$L_r = 97 - 10 \log 12 + 6 = 92 \quad \text{dB}$$

$$L_{tot} = 92.1 \quad \text{وبجمع } L_r, L_d \text{ نحصل على :}$$

وبالمثل باعتبار A_t تساوى ٨٧ سابين مترى :

$$\therefore L_r = 97 - 10 \log 87 + 6 = 83.6 \text{ dB}$$

$$\therefore L_{tot} = 84$$

أى أن زيادة A_t من ١٢ سابين الى ٨٧ سابين مترى تُضيف الى خفض الصوت
بمقدار ٨ ديسيبل .

تأثير قرب مصدر الصوت من سطح عاكس :

وُجد بالتجربة مايلي :

- اذا كان مصدر الصوت يبعد اكثر من ١ متر من الجدار لا داعى لاي تصحيح .
- اذا كان بجانب حائط مفرد — يضاف ٣ ديسيبل لمستوى الصوت .
- اذا كان المصدر عند التقاء جدارين أو جدار وأرضية أو جدار وسقف — يضاف ٦ ديسيبل .
- اذا كان المصدر عند ٣ اسطح (جدارين وسقف مثلا اى عند ركن فى الغرفة) يضاف ٩ ديسيبل .

مثال (مه) :

- مروحة هواء يصدر عنها ضوضاء بمستوى قدره ١٠٥ ديسيبل بالقياس إلى قدرة ١ بيكو وات . احسب مستوى الضوضاء المباشرة في الغرفة للحالات المقترضة التالية بالنسبة لشخص على بعد ٣ متر منها .
- أ - إذا علقت على بعد ٢ متر من النقطة المركزية للسقف .
- ب - إذا علقت قريبة جدا من النقطة المركزية للسقف .
- ج - إذا علقت عند التقاء السقف بأحد الجدران .
- د - إذا علقت عند أحد الأركان .

الحل :

- أ - بما أن مصدر الضوضاء على بعد ٢ متر إذاً لا داعي لأي تصحيح نتيجة أي سطح عاكس :

$$L_d = L_w - 20 \log r - 10.9$$

$$= 105 - 20 \log 3 = 85 \text{ dB}$$

ب - في هذه الحالة علينا إضافة ٣ ديسيبل للنتيجة التي حصلنا عليها في الجزء

$$\therefore L_d = 88 \quad (أ) :$$

ج - يجب اضافة ٦ ديسيبل : $L_d = 91 \text{ dB}$

د - يجب اضافة ٩ ديسيبل : $L_d = 94 \text{ dB}$

التحكم في مستويات الصوت في الغرف المنفصلة عن بعضها بحواجز جزئية :

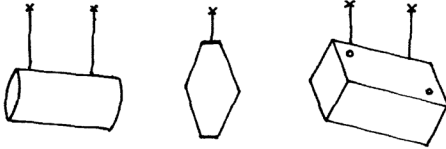
توجد مثل هذه الاماكن في البنوك والشركات وبعض الانشطة الاخرى . عندئذ يجب ان تتميز الحواجز الجزئية الفاصلة بين تلك الغرف وكذلك يجب تمييز هذه الغرف بما يلي :

- ١ - لا يقل ارتفاع الحاجز عن ١.٥٠ متر .
- ٢ - كتلة وحدة المساحات من الحاجز اكبر من ٢٥٠ كجم / متر^٢ .
- ٣ - لاتزيد الفجوة بين الطرف الأسفل للحاجز والارضية عن ٣ سم حتى لاتحدث انعكاسات للصوت على الارضية من غرفة الى غرفة أخرى . مع زيادة أبعاد الحاجز بما هو متاح من حيز بقدر الامكان لان هذه الزيادة يصحبها زيادة في كفاءة الحاجز لعزل الصوت.
- ٤ - تبطين وجهي الحاجز باغطية تتميز بكفاءة عالية لامتصاص الطاقة الصوتية مثل الياف الصوف الزجاجي بسبك مناسب (حوالى ٥ سم في كل جانب) .
- ٥ - تزويد الصالة التي تشتمل على المكاتب المفتوحة بسقف مبطن بمادة معامل امتصاص الطاقة الصوتية (α) لها لا يقل عن ٠.٩ . بالنسبة لشروط التردد

الثلاث ١٠٠٠ ، ٢٠٠٠ ، ٤٠٠٠ هيرتز وتغطية جدرانها باغطية

• معادلة

- ٦ - استخدام مجموعات انارة متدلية من السقف بنوعية لها القدرة على تشتيت الصوت واستطارته - كالعينة الموضحة في الشكل التالي - وتجنب استخدام مسطحات انارة من شأنها زيادة انعكاس الطاقة الصوتية من مكتب الى مكتب آخر .



وحدات إنارة بتصميم هندسي يُساعد على استطارة الطاقة الصوتية

شكل (٥-١١)

خصوصية الغرف بالنسبة للتخاطب بين الاشخاص :

في المعتاد تعتبر خصوصية الغرف من نوعيتين :

النوعية الأولى : ويُطلق عليها اسم " الخصوصية العادية " للغرفة اذا كان الحديث

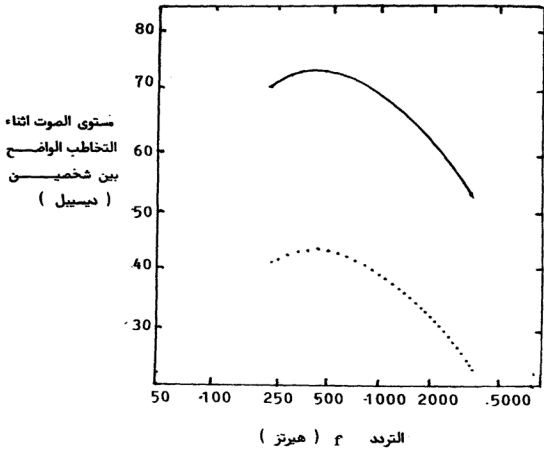
خارجها قد تعدى حدودها فتسلل اليها بصورة " غير مزعجة " ولكنه سموعا وبمعنى
الالفاظ التي جاء بها ميزة دون بعضها •

النوعية الثانية : ويطلق عليها اسم " الخصومية الموثوق بها " - أو الخصومية
السرية للفرقة - اذا أصبح الحديث الخارجى المتسلل اليها غير واضح المعالم •

وخصومية الفرقة بنوعها تعتمد على عدة عوامل :

أ - المجهود الذى يبذله المتحدث فى نطق كلماته ويوضح ذلك شكل (١٢-٥) ،
حيث تحتل المساحة بين المنحنين المدى الذى يتم فيه التخاطب العادى
بين شخصين ونجد انه محدد بمستوى ادنى (٤٣ ديسيل) • ومستوى
الطى (٧٣ ديسيل) •

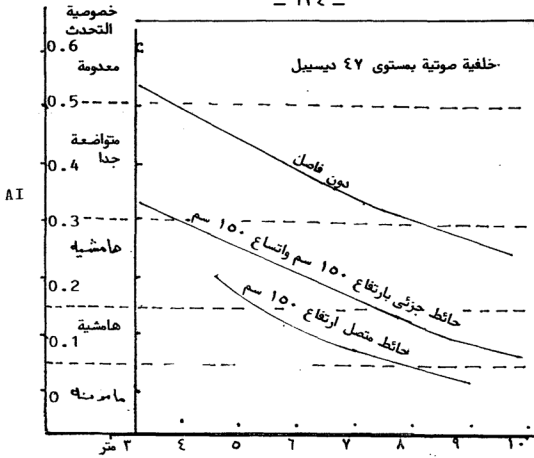
وبدئى ان هذا المجهود يزداد من قَلَّ المتحدث كلما زادت خلفيته
الضوءاء الموجودة فى الحيز الذى به المتحدث والمتلقى فلقد اوضحت القياسات
السمعية ان الاذن العادى بدون ارتجاع او مجهود كبير ^{تأدية على} لا يسمع الا حادىث بمحبة
خلفية صوتية متواها فى حدود ٤٧ ديسيل • وفى شكل (١٢-٥) موضح
تأثير زيادة المسافة بين المتحدث والمستمع على معامل وضوح النطق
(Articulation Index) والذى يعتبر مقياسا لخصومية الحديث
بينهما • ويشمل الشكل تأثير تواجد فاصل جزئى او فاصل متصل بينهما



مستويات الصوت للحديث العادي بين شخصين

كمالة للتردد

شكل (١٢-٥)



المسافة بين المستمع والمتكلم (بالقدم) ، بالمتر

اتصال التحدث باستخدام سائر

مع استخدام سقف له معامل خفض الضوضاء أكبر من ٨٠ .

واستخدام جهاز شوشرة الكروني مكون من :

- مولد ضوضاء ذات شريط ترددي متسع .
- مكبر الكروني .
- وحدة لمرار الصوت Speakers مناسبة موضوعة في المعتاد بمحلاة سقف .
- معلق Placed above a drop ceiling وموجهة الى المظلي .

شكل (١٣-٥)

• بجانب عدم وجود أي حاجز بينهما

هذا بالنسبة للحديث العادي بين شخصين • بينما يوضح شكل (١٤-٥) الفرق في مستويات الصوت في حالة ان الحديث مرتفع المستوى او مرتفع جدا او هو أشبه بالصراخ • وبالطبع هذا كله ينعكس على خصوصية الغرفة كما هو موضح •

ب - الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية (A_i) في كل من الغرفتين المتجاورتين • وهذا يتحدد كما رأينا قبلا بالاثاث الموجود في الغرفة وكذلك السجاجيد والمواد المبطنه للسقف ونوعية اسطح جدرانها • وعدد الاشخاص الموجودين بداخلها •

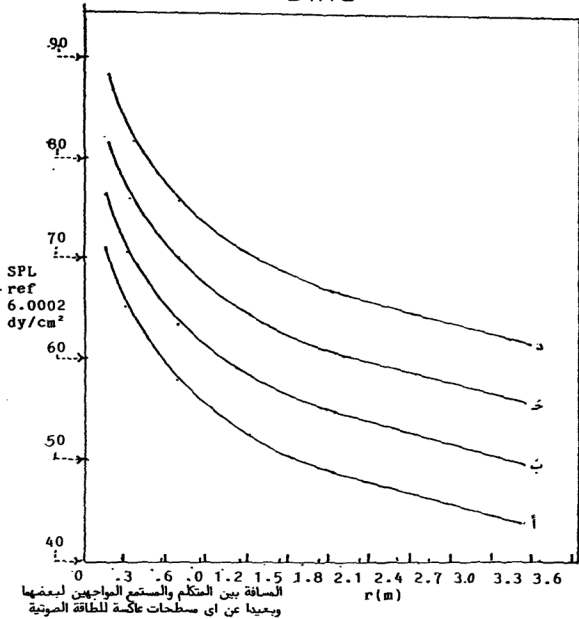
ج - الخلفية الصوتية في غرفة المستمع (كما اتضح في شكل (١٣-٥)) •

د - مساحة الحاجز الذي يفصل بين الغرفتين (S) •

هـ - رتبة نفاذية الصوت لهذا الحاجز (STC) • وهذه يمكن حسابها من العلاقة التالية :

$$STC \geq K - L_D - 10 \log [(A_{source} \cdot A_{rec.})/S]$$

حيث :



أ - حديث عادي المستوى

ب - حديث مرتفع المستوى

ج - حديث مرتفع المستوى جدا

د - صراخ

مستويات النويات المختلفة للحديث بين شخصين كدالة للمسافة بين المتحدث والمستمع

شكل (١٤٥)

- S (كماشير اعلاه) مساحة الحاجز الذى يفصل بين الغرفتين المتجاورتين •
- A_{source} الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية فى الغرفة التى تنشأ فيها الضوضاء المتسلسلة للغرفة الاخرى •
- A_{rec} الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية فى الغرفة التى يتسلل اليها الضوضاء •
- L_p مستوى الضوضاء الخلفية المتواجدة فى الغرفة المطلوب حماية خصوصيتها الصوتية •
- ويُعرف L_p بأنه مستوى الصوت الخامى بالضوضاء فى ثلاث شرائط ترددية (٦٠٠ - ١٢٠٠) هيرتز ، (١٢٠٠ - ٢٤٠٠) هيرتز ، (٢٤٠٠ - ٤٨٠٠) هيرتز • وهى نفس المستويات الموضحة فى شكل (١٤-٥)
- كدالة للمسافة بين المتحدث والمستمع بحيث يصبح فى الامكان - بالكاد - التعرف على ما يسمعه المتلقى بدون عناء •
- K ثابت تعتمد قيمته (بالديسيل) على كل من المستوى (L_p) ونوعية الخصومية المطلوبة فى الغرفة • وهذا موضح لبعض نماذج الغرف فى الجدول التالى :

جدول (٥ - ٦)

قيمة الثابت K		مستوى الخلفية الصوتية L_b	طبيعة الغرفة
خصوصية سرية	خصوصية عادية		
٩٩	٩٢	٣٥	غرفة اجتماعات كبيرة
٩٤	٨٧	٤٠	غرفة رئيس شركة
٨٩	٨٢	٤٥	غرفة مكتب
٨٩	٨٢	٥٠	غرف مكاتب منفصلة بحواجز جزئية
٩٤	٨٧	٥٠	غرفة انتظار

مثال (٦-٥) :

غرفة رئيس احدى الشركات يفصلها عن غرفة السكرتيرة جدار مساحته ٩٨ متر^٢
ومطلوب عدم السماح لأى ضواء بغرفة السكرتيره أن تتسلل الى غرفة رئيس^٠ عيـن
رتبة نفاذ الصوت لهذا الجدار بفرض ان الاحاديث التى تجرى فى غرفة رئيس الشركة
تصل الى غرفة السكرتيره غير واضحة^٠ وأن :

مساحة المسطحات بغرفة السكرتير	= ٢٤ متر
مساحة المسطحات بغرفة رئيس الشركة	= ٥٨ متر
المعامل المتوسط لامتماص الطاقة الصوتية بغرفة رئيس الشركة	= ٠.٨٥
المعامل المتوسط لامتماص الطاقة الصوتية بغرفة السكرتير	= ٠.٢٨

الحل :

أ - بفرض سرية الاجتماعات بغرفة رئيس الشركة هي المطلوبة :

قيمة الثابت K	= ٩٢ ديسيبل	(راجع جدول (٥ - ٥))
الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية بغرفة رئيس الشركة	= ٤٩.٣	سابين مترى
الامتصاص الكلي للطاقة الصوتية بغرفة السكرتير	= ٦.٧	سابين مترى
مستوى الخلفية الصوتية بغرفة السكرتير	= ٤٥	ديسيبل

$$\therefore \text{STC} = 92 - 45 - 10 \log \left(\frac{49.3 \times 6.7}{9.8} \right)$$

$$= 32 \text{ dB}$$

ب - بفرض أن الاصوات في غرفة السكرتير يتسلل بعضها الى غرفة رئيس الشركة
في حدود الخصوصية العادية :

• قيمة الثابت K = ٩٢ ديسيبل

مستوى الخلفية الصوتية بغرفة رئيس الشركة = ٢٥ ديسيبل

$$\therefore \text{STC} = 92 - 35 - 15.3$$

$$= 42 \quad \text{dB}$$

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب السادس

التحكم في الضوضاء المادرة من اجهزة

التكييف والتهوية

يلاحظ ان مجموعات التكييف اصبحت استخدامها شائعا في معظم المباني (خصوصا في المدن الكبيرة) سواء السكنية او الادارية او المستشفيات أو مباني الانشطة الاخرى مثل المصانع والشركات ودور العروض الفنية ومراكز الانشطة السياحية .

وهنا نبدأ بالإشارة الى انه بالإضافة الى ما يحققه جهاز التكييف من أغراض التفتئة والتبريد للمكان الموجود به يجب ان يُحقق كذلك الشروط الواجب توافرها من ناحية مستويات الضوضاء التي تصدر منه في هذا المكان وما ينتشر منها للأمكنة المجاورة .

أهم مصادر مثل هذه الضوضاء الاجزاء التالية التي يشملها في المعتاد جهاز التكييف :

أ - الحركات الاهتزازية والذبذبات لقاعدة جهاز التكييف وانتقالها خلال الهيكل الخرساني للمبنى ومرفقاته في صورة ضوضاء منتشرة الى مسافات كبيرة عبر المبنى وخارجه .

ب - الحركة الدورانية (سواء محورية أو مصحوبة بطرد مركزي) الخاصة بمروحة جهاز التكييف .

ج - الحركات الاهتزازية والذبذبات لريش فوهة خروج الهواء المنبعث من الجهاز والهيكل المعدني لجهاز التكييف .

هذا على افتراضي ان الجهاز عبارة عن وحدة تكييف منفصلة . اما اذا كان عبارة عن مجموعة تكييف مركزي فيضاف لمصادر الضوضاء :

د - القناة او مجموعة القنوات التي يتدفق خلالها الهواء المكيف وكذلك قنوات الارجاع . حيث ينبعث الهواء المكيف من فتحات موزعة توزيعا خاصا بما يناسب ظروف الوحدة السكنية او المبنى .

وسوف نحاول فيما يلي ان نلخص بعض الملامح الخاصة بكل من هذه المصادر وجميعها مبنية على المشاهدات التجريبية .

أ - الضوضاء المتولدة من الحركة الذبذبية واهتزاز الاجسام : (راجع الباب الاول)

كما اشرنا توا فان الحركة الاهتزازية التي يتعرض لها المبنى او اى جزء منه نتيجة تشغيل ماكينة ما مثل وحدة تكييف يمكن ان تنتقل من مبنى الى مبنى آخر عن طريق الارضية الصلبة التي تصل بين اساسات كل منهما . كذلك يمكن

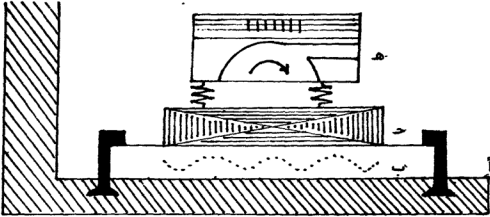
ان تنتقل من جزء من المبنى الى جزء آخر منه عن طريق الهيكل البنائى له .

ذلك كله عن طريق انتقال " مركبات القوى الأصلية " التى نشأ عنها الحركة الاهتزازية للمصدر (راجع صفحة (٥)) .

مثل هذه الحركات الاهتزازية والذبذبات بالمبنى لها اربع آثار :

- ١ - ربما تؤدى الى تلف لبعض اجزائه .
- ٢ - ربما تؤدى الى ازعاج جسمانى لشاغلى المبنى .
- ٣ - امكانية تدخلها بطريقة غير مرغوب فيها فى ظروف الانشطة التى تتم داخل المبنى - مثال ذلك التأثير على دقة قراءة جهاز حساس .
- ٤ - تؤدى الى نشوء ضوضاء من جرائها الازعاج العصبى للاشخاص داخل المبنى وخارجه .

لذلك يجب على القائمين بتركيب هذه الوحدات عمل كل ما يحقق تلاشى هذه الآثار أو الإقلال منها لادنى مستوى . وموضح بشكل (٦-١) احد الوسائل لتحقيق ذلك . حيث نلاحظ اضافة وسادة مطاطية لزيادة كفاءة عزل الحركة الاهتزازية بواسطة استخدام التخميل الزنبركى لمجموعة التكيف .

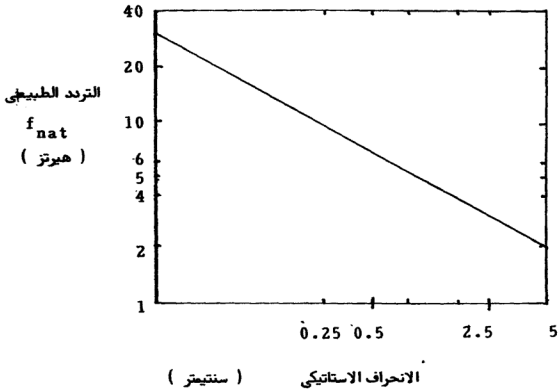


- أ جزء من الهيكل البنائى للوحدة السكنية او الغرفة .
- ب وسادة مطاطية بسبك ونوعية منتقاه بحيث تتحمل الثقل المستقر عليها دون ان يحدث لها تهتك
- ج قاعدة صلبة لزيادة " القصور الذاتى " لمجموعة التكييف .
- د وصلات زنبركية لعزل الحركة الاهتزازية لمجموعة التكييف عن المبنى .
- ه مجموعة التكييف .

رسم توضيحي يمثل أحد السبل للتحكم فى الضوضاء

الناتجة من الحركة الاهتزازية

شكل (٦-١)



التردد الطبيعي لمجموعة التحميل كالة للانحراف الاستاتيكي

شكل (٢-٦)

ويمكن حساب كفاءة مثل هذه المجموعة (Eff.) في عزل الحركة

الاهتزازية عن المبنى بواسطة العلاقة التالية :

$$(Eff.) = 100 \left(1 - \frac{1}{(f_{rot} / f_{nat})^2 - 1} \right) \quad (6-1)$$

حيث :

f_{nat} = التردد الطبيعي لمجموعة عزل الذبذبات ويمكن معرفته من المنحنى
الموضح بشكل (٦-٢) بمعلومية الانحراف الاستاتيكي d
(بالسنتيمتر) لها وهذا المنحنى يحقق المعادلة :

$$f_{nat} = 5 \sqrt{\frac{1}{d}} \quad (6-2)$$

f_{rot} = تردد مصدر الحركة الاهتزازية وهى المروحة فى هذه الحالة .
كما ان الاختزال الناتج فى مستوى الضوضاء $(NR)_{vib}$ يمكن حسابه من
المعادلة :

$$(NR)_{vib.} = 40 \log_{10} (f_{rot}/f_{nat}) \quad dB \quad (6-3)$$

ب - الضوضاء الصادرة من مراوح وحدات التكييف (أو مراوح التهوية) :

تتميز الضوضاء الصادرة من المراوح بانها عالية المستوى (حتى تلك الصادرة
من الصغيرة منها) . لذلك يجب وضعها على مخدات ماصة للاهتزازات على النحو
السابق ذكره بخصوص شكل (٦-١) . وذلك حتى يتم تهدئة الضوضاء الصادرة
منها فى مكان تشغيلها اذ وُجد أن هذا أوفر اقتصاديا واكبر كفاءة .

ويمكن حساب مستوى ضوضاء المروحة (التي تشتغل بسرعات متفاوتة) عن طريق اى من العلاقتين التاليتين :

$$(L)_{fan} = 20 \log [H.P.] \quad dB \quad (6-4)$$

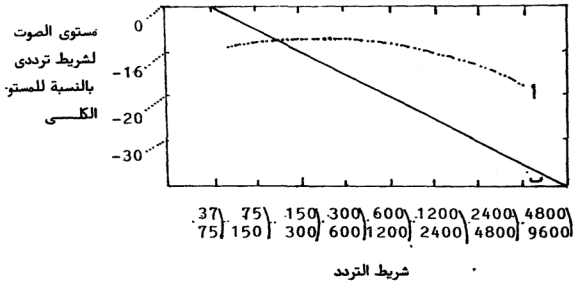
$$, (L)_{fan} = 50 \log [r.p.m.] \quad dB \quad (6-5)$$

حيث :

- $(H.P.)$ قدرة المروحة مُعبر عنها بقدرة حصان
- $(r.p.m.)$ عدد اللفات التي تتمها ريش المروحة فى الدقيقة الواحدة

وهاتين العلاقتين توضحان انه من الافضل (من ناحية التحكم فى الضوضاء) تشغيل مروحة كبيرة بنصف معدلها عن تشغيل مروحة بكامل طاقتها قدرتها نصف قدرة المروحة الكبيرة .

وفى المعتاد تعطى الضوضاء الصادرة من المراوح مُعبر عن مستوياتها بدلالة الشريط الترددى بالاسلوب المبين بشكل (٦-٣) . وذلك للنوع المحورى أو النوع الذى يشتغل بالاسلوب الطرد المركزى .



الضوضاء الناتجة عن المراوح بنوعيها

أ - مروحة محورية ب - مروحة تعمل بأسلوب الطرد المركزي

شكل (٦-٣)

والسبب الرئيسي في انبعاث هذه الضوضاء هو أن في كل مرة تمر أي — من ريش المروحة بنقطة ما أثناء دورانها فإن الهواء عند هذه النقطة يُعطى دفعة ميكانيكية تُحركه بقوة مفاجئة ينتج عنها تلك الضوضاء (مثل الضوضاء التي تصاحب التدفق الدوامي لأي غاز أو أي سائل كما يقابلنا في الغلايات وأنابيبها أو عند انحناءات مواسير المياه) وتعتمد نغمتها الأساسية (راجع شكل ()) على تردد حركة الريش . بينما تعتمد مركباتها التوافقية على النمط الذي يتم به استقبال الدفعة

الميكانيكية المشار إليها • وإذا تم تركيب المروحة بين قناتين مقطع كل منهما مساحته S وانحدار الضغط عبر جانبي المروحة P ملليمتر ماء يمكن حساب مستوى الضوضاء الكلية L_{tot} النابعة من المروحة تبعا للعلاقة التالية :

$$(L_{fan})_{tot} = 97 + 10 \log (H.P.) - 10 \log (10.8 S) \\ + 10 \log \left(\frac{P}{25} \right) \quad (6-6)$$

اما مستويات الضوضاء الخاصة بشرائط التردد المختلفة فيدخل في حساباتها كل من :

— تردد حركة ريش المروحة (B_f) ويمكن حسابه من العلاقة :

$$B_f = \frac{(\text{عدد لفات الريش في الدقيقة}) \times (\text{عدد ريش المروحة})}{60} \\ = \frac{(n_b) \cdot (r.p.m.)}{60} \quad (6-7)$$

— حجم الهواء المتدفق عبر المروحة في الثانية الواحدة (Q)

— انحدار الضغط P (ملليمتر ماء) عبر جانبي المروحة •

— عدد معين من الديسيبل يسمى " الزيادة الخاصة بتردد ريش المروحة " ويعتمد

على الشريط الترددي الذي يحتوى على تردد حركة ريش المروحة ويرمز له بالرمز

(BFI) - وقيمته في المتوسط ٥ ديسيبل تضاف للمستوى الخاضع

بهذا الشريط الترددي فقط دون باقى مدى التردد .

ج - الضوضاء الصادرة من المسطحات " الواجهات " المهتزة :

فى الجزء (أ) ألحنا الى الضوضاء الناتجة من " جسم " مهتز ولكن فسى هذا الجزء نذكر كلمة خاصة باهتزاز المسطح الخارجى لجهاز التكييف - ومايحتوى على ريش او شبك - او المسطح الخارجى الخاضع بقناة التكييف .

وعموما المسطحات المعدنية - او المصنوعة من مواد صلبة مشابهة - تهتز تسوا بمجرد ان يهتز المصدر المتمثل بها (كثيرا ما يلاحظ مثل ذلك باهتزاز زجاج النوافذ لحظة مرور مركبات ثقيلة بالطريق العام أو مرور قطارات السكك الحديدية اذا كان المبنى قريبا منها) . وينبعث ضوضاء نتيجة ذلك وتتطلق الى الحيز المحيط بهذه المسطحات .

ويتناسب مستوى هذه الضوضاء $(L)_{v.N.}$ مع سرعة اهتزاز المسطح .
ولكن نظرا لسهولة قياس عجلة الحركة الاهتزازية فانه عادة مايعبر عن ذلك بدلالة العجلة (a) كما يلى :

$$(L)_{v.N.} = 20 \log_{10} \left(\frac{a}{g} \right) \quad \text{dB} \quad (6-8)$$

حيث g (٩٨١ متر / ثانية^٢) ترمز لعجلة الجاذبية الأرضية .
وعندما يكون المسطح المهتز داخل حيز (غرفة مثلا) فان مستوى الصوت الارتدادى
 $(L_r)_{V.N.}$ الناتج عن المسطح المهتز نستطيع تعيينه من العلاقة التالية :

$$(L_r)_{V.N.} = (L)_{V.N.} + 10 \log \left(\frac{4 S \cdot G}{A} \right) \text{ dB} \quad (6-9)$$

وهو ما نتوقعه فى ضوء ما درسناه عن الصوت الارتدادى داخل الغرف حيث

G = كفاءة المسطح المهتز فى اطلاق الطاقة الصوتية

S = مساحة المسطح المهتز

A = الامتصاص الكلى الحادث للطاقة الصوتية داخل الغرفة .

د - الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف :

بجانب الضوضاء الناتجة من اهتزاز مسطحات قناة التكييف التى ذكرناها اعلاه فى

الجزء (ح) فان الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف تتمثل فيما يلى :

أولا : ضوضاء المراوح الخاصة بالوحدة التى تمثل القنوات الجزء الناقل لهواء التكييف

لتوزيعه الى اجزاء المبنى الذى تخدeme تلك الوحدة . وسبق لنا ذكر بعض

خصائصها .

ثانياً : ضوضاء مصدرها خارج المبنى الذى به وحدة التكيف وتسربت خلال فوهة المروحة عند بداية قناة التكيف . وقد ثبت بالتجربة ان مستوى الضوضاء خارج المبنى بالقرب من فوهة المروحة (L_1) مرتبط بمستوى الضوضاء داخل الغرفة نتيجة التسرب خلال القناة (L_2) بالعلاقة التالية :

$$L_2 = L_1 - (NR)_d + 10 \log S - 10 \log A + 6 \quad (6-10)$$

حيث :

$(NR)_d$ = الخفض الكلى فى مستوى الطاقة الصوتية نتيجة مرورها داخل تجويف ^{تعمد}

القناة ، ووجد ان قيمته — كما نتوقع — على كل من :

- تردد الطاقة الصوتية .
- ابعاد فتحة قناة التكيف او مساحة مقطعها S .
- كَوْن جدران القناة مبطنة او غير مبطنة .

والجدول التالى (٦-١) يلخص بعضا من هذه النتائج :

جدول (١-٦)

معدل الخفض في مستوى الطاقة الصوتية - غير كل متر - داخل قناة التكييف

(ديسيل / متر)

التردد		١٢٥ هيرتز		٢٥٠ هيرتز		٥٠٠ هيرتز	
مساحة مقطع القناة S		غير مبطنه باللياف زجاجية سم ٥	غير مبطنه باللياف زجاجية سم ٥	غير مبطنه باللياف زجاجية سم ٥	غير مبطنه باللياف زجاجية سم ٥	غير مبطنه باللياف زجاجية سم ٥	غير مبطنه باللياف زجاجية سم ٥
١٥ سم × ١٥ سم	٠.٦٠	٤.٦٠	٠.٤٥	٣.٩٠	٠.٣٠	١.٠٨	
٦٠ سم × ٦٠ سم	٠.٦٠	٠.٥٠	٠.٣٠	١.٠٠	٠.١٥	١.٣	
١٨٥ سم × ١٨٥ سم	٠.٣٠	٠.٣٥	٠.١٥	٠.٣٠	٠.٠٣	١.٦	

ويمكن التحكم في الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف (بنوعياتها الثلاث التسي

نكرناها) بعدة طرق من أهمها :

(١) خفض مستوى الضوضاء داخل القناة بتطين جدرانها (ان لم يكن الخارجية

مغطاه للحصول على نتائج أفضل) :

كما يتضح من جدول (١-٦) فانه اثناء عبور الطاقة الصوتية داخل قناة التكييف

الغير مبطنة يحدث لها بعض الاختزال ولكن بنسب صغيرة • ولزيادة معدل هذا الاختزال بنسب مفيدة فانه يتم تبطين جدرانها من الداخل بمواد تتميز اى منها بكبر قيمة معامل امتصاص الطاقة الصوتية مثل الالياف الزجاجية (بسبك حوالى ٢ سم) •
 سيكون مقدار الخفض فى مستوى الضوضاء $(NR)_{L.d.}$ عبر كل متر من القناة المبطنة عبارة عن :

$$(NR)_{L.d.} = \frac{P \cdot \alpha^{1.4}}{S} \quad \text{dB/m} \quad (6-11)$$

يث :

$$\begin{aligned} P &= \text{طول محيط (Perimeter) القناة} \\ S &= \text{مساحة مقطع القناة} \end{aligned}$$

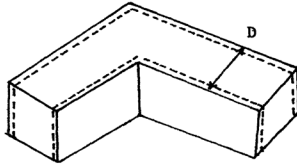
ولكن وُجد ان هذه العلاقة تُعطى قيما غير دقيقة انا زادت مساحة المقطع S عمن ٣٠ متر ٢ • على ان لاتزيد ابعاد محيط القناة عن ٢ الى ١ • لذلك فى هذه الاحوال تستخدم عادة فوالق عبر طول تجويف القناة مكونة من فلين غير سامى وسطن من الناحيتين بمواد ذات كفاءة عالية فى امتصاص الطاقة الصوتية •
 والفكرة فى استخدام هذه الفوالق (Splitters) هو زيادة قيمة المحيط P دون زيادة تُذكر فى المساحة S فى العلاقة
 فى—————زيادة $(NR)_{L.d.}$

(٢) خفي الضوضاء الناتجة من القنوات باستخدام انحناءات (كل منها يطلق

عليه كوع) :

في المعتاد مثل هذا الالتواء يكون على شكل انحناء قائم الزاوية كما فـ

شكل (٤-٦) ويجب ان يحقق شرطين هما :



نموذج لانحناء (كوع) قائم الزاوية

للتحكم في الضوضاء عبر المسار داخل قناة التكيف

شكل (٤-٦)

- اتساع القناة (D) اكبر من الطول الموجي λ
- سبك المادة المبطننة اكبر من عُشْر الاتساع (D)

والجدول التالي (٢-٦) يلخص مثال للنتائج الممكن الحصول عليها في هذه الحالة بالنسبة لخفى مستوى الضواء بالديسيبل كدالة للتردد وكذلك الاتساع (D) .

جدول (٢-٦)

الخفى فى مستوى الضواء نتيجة تركيب كوع
قائم الزاوية غير قناة تكيف

شريط التردد "هيرتز"	اتساع القناة ٣.٠ "متر"	اتساع القناة ٢٠.١ "متر"
٣٧ — ٧٥	صفر ديسيبل	١ ديسيبل
٧٥ — ١٥٠	١	٣
١٥٠ — ٣٠٠	٣	٨
٣٠٠ — ٦٠٠	٦	١٦
٦٠٠ — ١٢٠٠	٨	١٧
١٢٠٠ — ٢٤٠٠	١٦	١٨
٢٤٠٠ — ٤٨٠٠	١٧	١٨
٤٨٠٠ — ٩٦٠٠	١٨	١٨

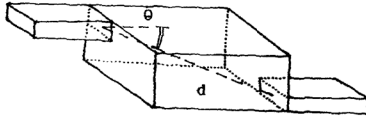
(٣) خفي مستوى الضوضاء قوات التكييف عن طريق تركيب " صندوق " - متسع

ومبطن - بين جزئين من القناة :

- تعتبر هذه الطريقة من أكفأ السبل لخفي مستويات ضوضاء قناة التكييف . ويرامى في هذه الحالة كما هو موضح بشكل (٥-٦) ان لا يكون فتحتي جزئى القناة على امتداد محور واحد بل يجب ترحيل احدهما جانبا بعض الشيء بالنسبة للآخر .

ولقد وُجد ان الخفى الناتج فى مستوى الضوضاء [المتسع المبطن (NR)]

عبارة عن :



صندوق متسع يتم تركيبه مبر جزئين من قناة تكييف

لخفى مستوى الضوضاء بكفاءة عالية

شكل (٥-٦)

$$(NR)_{\text{المتسع المبطن}} = 10 \log \left[\frac{1}{S_E \left(\frac{\cos \theta}{2d} + \frac{1 - \alpha}{\alpha S_W} \right)} \right] \text{ dB} \quad (6-12)$$

حيث

- α = معامل امتثال الطاقة الصوتية الخاضع للمادة المبطننة .
- S_E = مساحة مقطع فوهة الخروج .
- S_W = مساحة جدار الصندوق المتسع .
- d = المسافة بين مركز فتحة الدخول ومركز فوهة الخروج بالصندوق المتسع .
- θ = الزاوية بين المسافة (d) والعمود المقام على مستوى فتحة الدخول .

(٤) خففى ضوضاء قنوات التكيف عن طريق تركيب " وحدة متكاملة لخففى الصوت "

عند احدى النقط عبر القناة :

- بسبب فاعليتها فى خففى الضوضاء هذه الوحدات يطلق عليها احيانا اسم
- " مصيدة الصوت " ويتم تركيبها بغرض الحصول على قدر محدد من خففى الضوضاء
- عبر القناة .

وفي المعتاد يتم تزويدها بأطوال ٩٠ سم ، ١٥٠ سم ، ٢١٠ سم . ويراعى عند تركيبها ان يتم ذلك عند نقط بعيدا عن السريان الدوامى للهواء داخل قناة التكييف - على سبيل المثال على ابعاد اطول من ثلاث امثال قطر القناة من اقرب قوسه مروحة او انحناء (كوع) .

وتتميز " مصيدة الصوت " بثلاث أشياء :

- انحدار الضغط على جانبيها الذى يعتمد على كل من طولها ومساحة مقطعها واسلوب تصميمها الداخلى علاوة على سرعة تدفق الهواء خلالها .
- الضوضاء الذاتية والتي تنتشر عبر الاتجاه الطبيعى لسريان الهواء فى مجموعة التكييف ويتراوح مستواها (لتردد ٥٠٠ هيرتز) بين ٤٧ ديسيبل ، ٦٤ ديسيبل .
- خفى مستوى الضوضاء نتيجة ادماجها ويقصد به الفرق بين مستوى قدرة الصوت عند نقطتين على جانبي وحدة خفى الصوت ويتراوح مقداره (عند تردد ٥٠٠ هيرتز) بين ٢٨ ديسيبل ، ٤٠ ديسيبل .

(٥) خفى الضوضاء الصادرة من قنوات التكييف عن طريق استخدام تغريعات متعددة

لتقسيم قدرة الصوت بينها :

عند خروج احد الفروع من قناة التكييف الرئيسية فان الطاقة الصوتية تنجزاً عند نقطة الخروج بنفى نسبة مساحتى المقطع لهما تبعاً لـ علاقة التناقص :

$$(DBS) = 10 \log (S_{branch}/S_{main}) \text{ dB}$$

نتيجة التفريع

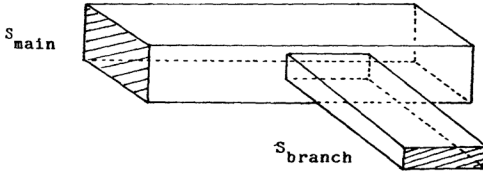
(٦-١٣)

حيث :

DBS = عدد الديسيبل التي تُطرح من مستوى قدرة الصوت في القناة الرئيسية
لنحصل على مستوى قدرة الصوت في القناة الفرعية (شكل (٦-٦)) .

$$S_{branch} = \text{مساحة مقطع القناة الفرعية}$$

$$S_{main} = \text{مساحة مقطع القناة الرئيسية} .$$

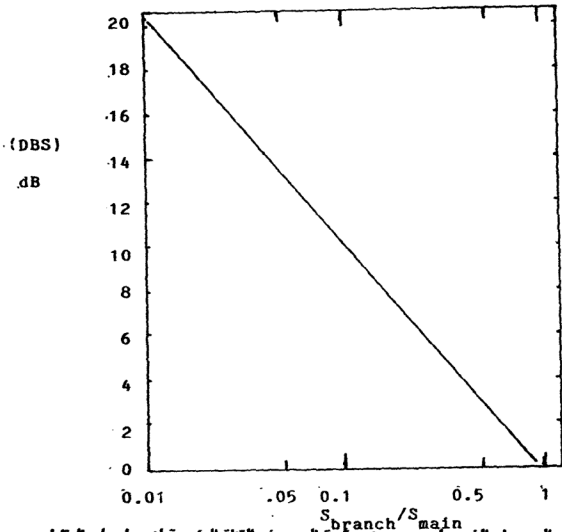


قناة رئيسية مساحة مقطعها S_{main} ويتفرع منها

قناة جانبية بمساحة مقطع S_{branch}

شكل (٦-٦)

فمثلا اذا كانت مساحة مقطع القناة الرئيسية ضعف مساحة مقطع القناة الفرعية فان عدد الديسيبل الذى يطرح (DBS) يساوى ٣ . فانا كان مستوى قدرة الصوت داخل القناة الرئيسية ٤٩ ديسيبل يصبح مستوى قدرة الصوت داخل القناة الفرعية ٤٦ ديسيبل . (راجع شكل (٧-٦)) .



عدد الديسيبل الذى يطرح من مستوى قدرة الصوت فى القناة الرئيسية لنحصل على المقابل
فى القناة الفرعية
شكل (٧-٦)

(٦) الخفض الحادث في مستوى الضوضاء المنبعثة من فوهة القناة نتيجة انعكاس

جزء من الطاقة الصوتية عند طرف القناة متجهة الى داخلها مرة أخرى :

يحدث هذا النقص في الضوضاء نتيجة التغير المفاجيء في ابعاد المسار المتاح للطاقة الصوتية الصادرة عند فوهة الخروج .

وقد لوحظ ان مقدار النقص في الضوضاء يزداد قَدْرَهُ كلما كانت ابعاد القناة صغيرة بالنسبة للطول الموجي للصوت - اى عند الترددات المنخفضة . وهذا موضح في الجدول التالى (٣-٦) :

جدول (٣-٦)

تأثير الانعكاس الجزئى للضوضاء عند فوهة الخروج من قناة التكيف على مستوى الضوضاء الصادرة منها

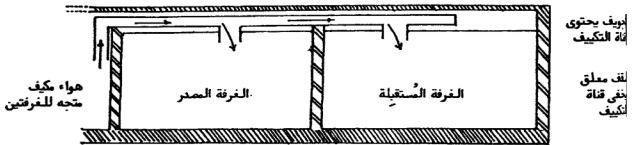
التردد	مساحة مقطع القناة					
	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٢
١٥ سم × ١٥ سم	صفر	١	٣	٦	١٢	١٧
٣٠ سم × ٣٠ سم	صفر	صفر	١	٣	٦	١٢
٦٠ سم × ٦٠ سم	صفر	صفر	صفر	١	٣	٦
١٢٠ سم × ١٢٠ سم	صفر	صفر	صفر	صفر	١	٣

— الأوضاع المختلفة المحتل تواجد قنات التكيف عليها والعلاقة الرياضية المقابلة.

لحساب مستوى الضوضاء الصادر منها :

(١) قناة التكيف تمتد بين غرفتين أحدهما تعتبر مصدر للضوضاء والأخرى مستقبلة

لها : (شكل (٨-٦)) :



شكل (٨-٦)

$$(L_r)_{\text{المستقبلة}} = (L_r)_{\text{الغرفة المصدر}} - \text{القناة (NR)} - 10 \log A + 10 \log S \quad (٨-١٤)$$

حيث :

(L_r) = مستوى الصوت الارتدادى فى الغرفة المستقبلية للضوء •
الغرفة المستقبلية

(L_r) = مستوى الصوت الارتدادى فى الغرفة التى نعتبرها مصدرا
الغرفة المصدر للضوء

(NR) = المجموع الكلى لمفردات خفى الضوء عبر القناة بين الغرفتين
القناة نتيجة العوامل المتواجدة فعلا بين قوهتيها •

A = الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية فى الغرفة المستقبلية للضوء •

S = مساحة مقطع قناة التكييف •

(ب) قناة تكييف تصل بين خارج المبنى وغرفة بها جهاز تكييف وفوهة خروج الهواء

غير سقوية من اى سطح عاكس (على مسافة اكبر من متر واحد) :

$S \log 10 + (NR) - (L_r)$ = خارج المبنى
الغرفة المصدر

$- 20 \log r - 17$ (6-15)

حيث :

(L) = مستوى الصوت خارج المبنى نتيجة انطلاق الضوضاء المتولدة
بالمنبع خارج
من جهاز التكييف بالغرفة عبر القناة الى الخارج عند نقطة تبعد
مسافة r من فوهة خروج الهواء (مقاسة على امتداد
محور القناة) .

(L_r) = مستوى الصوت الارتدادى فى الغرفة التى نعتبرها مصدرا
للضوضاء .
الغرفة
المصدر

(NR) = المجموع الكلى لمفردات خفض الضوضاء عبر القناة نتيجة مجموع
القناة
العوامل المتواجدة فعلا بين فوهتيها .

S = مساحة مقطع قناة التكييف .

(ح) قناة تكييف تصل بين خارج المبنى وفوهة بها جهاز تكييف وفوهة خروج الهواء

مستواها قريب من مستوى جدار المبنى (اقل من متر واحد) :

$$(L)_{\text{خارج المبنى}} = (L_r)_{\text{الغرفة المصدر}} - (NR)_{\text{القناة}} + 10 \log S$$

$$- 20 \log r - 14 \quad (6-16)$$

حيث الرموز المختلفة لها نفس المعاني في الفقرة السابقة (ب) والفرق الوحيد هنا هو إضافة (٣ ديسيبل) بسبب قرب فوهة خروج الهواء من الجدار .

(د) قناة تُغذى غرفة بالهواء المكيف بينما جهاز التكييف موجود خارج المبنى:

$$(L_r)_{\text{الغرفة المستقبلية}} = (L)_{\text{الجهاز خارج المبنى}} - (NR)_{\text{القناة}} - 10 \log A + 10 \log S + 6 \quad (6-14)$$

حيث :

(L_r) = مستوى الصوت الارتدادى فى الغرفة التى يتم تكييف هوائها
الغرفة المستقبلية
• بجهاز خارج المبنى .

(L) = مستوى الضوضاء المادرة عند فوهة الدخول لقناة التكييف من
الجهاز الموجود خارج المبنى .
الجهاز خارج المبنى

(NR) = المجموع الكلى لفقدان خففى الضوضاء عبر القناة نتيجة مجموع
القناة
العوامل الموجودة فعلا بين فوهتيها .

- $A =$ الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية فى الغرفة ذاتها
- $S =$ مساحة مقطع قناة التكييف

مثال (١-٦) :

وحدة تكييف مركزى يحيط بها غلاف معدنى ابعاده كالآتى : طول ٧ر٤ متر ، عرض ٥ر٥ متر ، ارتفاع ٣ر٢ متر . فانا فرض ان مستويات القدرة الصوتية (L_p) الصادرة من هذه الوحدة هى كما يلى :

- على مدى الاتجاه الطولى ٩٧ ديسيبل ، ٩٤ ديسيبل
- على مدى الاتجاه العرضى ٩١ ديسيبل ، ٨٩ ديسيبل
- على مدى الارتفاع ٩٦ ديسيبل ، لاشئ
- احسب مستوى القدرة الكلية للصوت الصادر من هذه الوحدة (L_w)

الحل :

باستخدام العلاقة :

$$L_w = \sum_{i=1}^n [L_{p_i} + 10 \log S_i] \quad (6-18)$$

$$\therefore L_W = (97 + 10 \log (3.2 \times 7.4))$$

$$+ (94 + 10 \log (3.2 \times 7.4))$$

$$+ (91 + 10 \log (3.2 \times 5.5))$$

$$+ (89 + 10 \log (3.2 \times 5.5))$$

$$+ (96 + 10 \log (5.5 \times 7.4))$$

$$= (110.7 \text{ dB}) + (107.7 \text{ dB}) + (103.5 \text{ dB})$$

$$+ (101.5 \text{ dB}) + (112.1 \text{ dB})$$

وبإضافة هذه المركبات بالاسلوب المتبع نحصل على :

القدرة الكلية للصوت الصادر من الوحدة عبارة عن :

$$L_W = 116 \text{ dB} \quad (\text{بالنسبة لقدرة واحد بيكو وات})$$

مثال (٢-٦) :

احسب مستوى الصوت المباشر (L_d) ومستوى الصوت الارتدادى (L_r) عند نقطتين (أ و ب) داخل غرفة حيث تبعد النقطة (أ) مسافة ١ متر ، النقطة (ب) مسافة ٧ متر عن فتحة التكييف بجدار الغرفة اذا فرض ان مستويات قدرة الصوت (L_w) المادرة منها هى الموضحة بالجدول (٤-٦) :

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
L_w (dB)	٤٢	٤٦	٥٨	٥٢	٥٠	٤٩	٤٤	٣٨

وان الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية داخل الغرفة "A" (دون اية اضافات كمعالجة صوتية) هو ١٩ سابين مترى .

الحل :

كما سبق ان رأينا فى حل مثال (٥ - ٤) صفحة (١٧٦) فان مستوى الصوت المباشر (L_d) ومستوى الصوت الارتدادى (L_r) يمكننا حسابها بالتعويضى فى المعادلتين :

$$L_d = L_w - 20 \log r - 10.9 \quad (5-13)$$

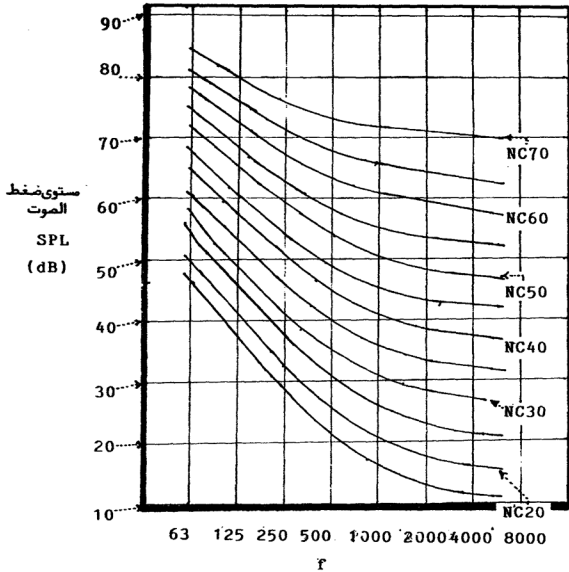
$$L_r = L_w - 10 \log A + 6 \quad (5-14)$$

وبالجدول التالى النتائج التى نحصل عليها بذلك :

L_p		L_r		L_d		التردد
عند ب	عند أ	عند ب	عند أ	عند ب	عند أ	
٣٥,٤	٢٦,١	٣٥,٤	٣٥,٤	١٤	٢٧,٣	٦٣
٣٩,٤	٤٠,١	٣٩,٤	٣٩,٤	١٨	٣١,٣	١٢٥
٥١,٤	٥٢,١	٥١,٤	٥١,٤	٢٠	٤٢,٣	٢٥٠
٤٥,٤	٤٦,١	٤٥,٤	٤٥,٤	٢٤	٣٧,٣	٥٠٠
٤٣,٤	٤٤,١	٤٣,٤	٤٣,٤	٢٢	٣٥,٣	١٠٠٠
٤٢,٤	٤٣,١	٤٢,٤	٤٢,٤	٢١	٣٤,٣	٢٠٠٠
٣٧,٤	٣٨,١	٣٧,٤	٣٧,٤	١٦	٢٩,٣	٤٠٠٠
٣١,٤	٣٢,١	٣١,٤	٣١,٤	١٠	٢٣,٣	٨٠٠٠

وبمقارنة هذه النتائج بمنحنيات "شرط عدم تجاوز مستويات الضوضاء" في حيز ما

نجد أنها تقابل المنحنى برقم ٤٥ ديسيبيل (NC-45)



المنحنيات العيارية لتحديد معدلات طيف ضوضاء معين • حيث يتم وضع قيم مستويات الصوت للطيف المعطى فوق هذه الخريطة فيكون معدل الضوضاء لهذا الطيف عبارة عن ما يوضحه أدنى منحنى يلامس طيف الضوضاء •

شكل (٦-٩)

مثال (٦-٢) :

مروحة عدد الريش بها ١٤ من النوع المقوس الى الخلف بقطر ٠.٩٦ متر وتبعا للجداول القياسية لمثل هذا القطر فان الطيف الضوضائى الصادر منها يتميز بمستويات قدرة صوت (L_w) بالنسبة لقدرة عيارية قدرها واحد بيكو وات عبارة عما يأتى :

التردد	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠ هيرتز
L_w	٨٢	٨١	٨٠	٧٨	٧٧	٧٥	٦٧	٥٦ ديسيبل

فانما فرض انها تدور بمعدل ١١٥ لفة فى الثانية الواحدة • والضغط الكلى

بها ١.٢ كيلو باسكال بينما معدل تدفق الهواء عبرها يساوى ٢٢ متر مكعب فى الثانية

الواحدة :

المطلوب :

- أ - حساب مستوى الضوضاء الكلى الصادر من المروحة فى ظروف التشغيل المعطاه •
ب - بفرض ان فوهتى المروحة الخاصة بمرور الهواء خلالها متشابهتين احسب مستوى الضوضاء الصادر من اى منهما على حدة •
ج - بفرض ان معدل الدوران ازداد الى ١٤٢ لفة فى الثانية الواحدة وان مجموعة الريش استبدلت بأخرى بنفس العدد ولكن بقطر ١.١ متر • احسب الضوضاء الكلية الصادرة من المروحة فى هذه الحالة • على فرض ان الضغط

الكلى مقداره ثابت كما ان مجموعة عزل الذبذبات لم تستبدل .

الحل :

(١) لحساب مستوى الضوضاء يجب اولا حساب الحد (term) المفسـروسـ
اضافته - ولنرمز له بالرمز $(C)_{Q,P}$ - بسبب ظروف التشغيل من
ناحية معدل تدفق الهواء (Q) والضغط الكلى (P) عبر المروحة .
وهو كما يلى :

$$(C)_{Q,P} = 10 \log Q + 20 \log P \quad (6-19)$$

$$= 10 \log (22) + 20 \log (1.7)$$

$$= 13.4 + 4.6 = 18 \text{ dB}$$

ثانيا حيث ان تردد حركة المروحة يساوى حاصل الضرب (عدد لفاتها فى
الثانية x عدد الريش التى تشملها) = (١١ x ١٤) اى ١٦١ هيرتز
فهذا يعنى انه ضمن الشريط الترددى الذى مركزه ١٢٥ هيرتز وعليـنا اذا

اضافة ٣ ديسيبل للمستوى المقابل لهذا الشريط دون اضافة اى شىء لباقيى
مدى التردد - وهذا العدد يعرف بالزيادة الخاصة بتردد ريش المروحة (BFI)
وله جداوله الخاصة (Blade Frequency Increment Tables)
وبذلك تكون مستويات الضوضاء الكلية الصادرة من المروحة على مدى الشريط
الترددى كله كما يلى :

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
مستوى الضوضاء الكليّة الصادرة من المروحة (ديسبل)	١٠٠	١٠٢	٩٨	٩٦	٩٥	٩٣	٨٥	٧٤

(ب) للحصول على مستوى الضوضاء الصادرة من احدى فوهتى المروحة (بفـرغى
تساويهما) علينا فقط ان نطرح مقدار ٣ ديسيبل من المستويات التى حصلنا
فى الجدول السابق عليها . وهذا يعنى المعطيات بالجدول التالى :

٨٠٠٠	٤٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٣	التردد (هيرتز)
٧١	٨٢	٩٠	٩٢	٩٣	٩٥	٩٩	٩٧	مستوى الضوضاء الصادرة من اى من فوهاتى المروحة (ديسيل)

(ح) العلاقة بين مستوى قدرة الصوت وقطر المروحة (2 R) وعدد اللفات

في الثانية (n) عبارة عن :

$$(L_w)_2 = (L_w)_1 + 70 \log (R_2/R_1) + 50 \log (n_2/n_1) \quad (6-20)$$

فعلى سبيل المثال عند التردد ٦٣ هيرتز $(L_w)_1 = ١٠٠$ ديسيبل .

اذا :

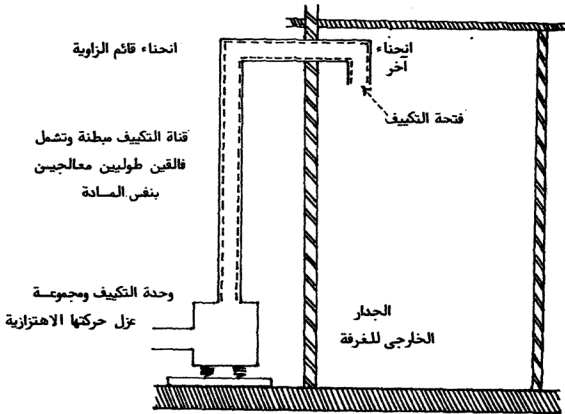
$$\begin{aligned} (L_w)_2 &= 100 + 70 \log (1.1/0.96) + 50 \log (14.2/11.5) \\ &= 100 + 4.1 + 4.6 = 108.7 = 109 \text{ dB} \end{aligned}$$

وهكذا بالنسبة لباقي الجدول .

شال (٤٦) :

وحدة تكييف مجهزة لتخدم غرفة باحد العيادات الطبية بالمواصفات التالية

هى والظروف البيئية المحيطة بها :



شكل (٦ - ١٠)

- المروحة تعمل بأسلوب الطرد المركزي بقوة ٢٢ قدرة حصان .
- الضوضاء بالطريق العام يبلغ مستواها ٨٢ ديسيبل بالقرب من فتحة دخول الهواء للجزء الأول " الغير مبطن " من قناة التكييف والممتد من خارج المبنى الى مدخل المروحة .
- الجزء الآخر من قناة التكييف الواصل بين فوهة خروج الهواء من المروحة وفتحة التكييف بالغرفة مُبطن بمادة لها معامل امتصاص للطاقة الصوتية (عند تردد ٥٠٠ هيرتز) قيمته ٠.٧٢. ويبلغ طوله الاجمالي (٢.٨ متر) ويشمل انحناءين كل منهما قائم الزاوية . كما ان هذا الجزء المبطن ينقسم تجويفه طوليا بقالقين مبطنين بنفس المادة ($\alpha = 0.72$) المستخدمة فـى تبطين جداره الداخلى .
- مساحة مقطع القناة (٢.١ متر x ٥.٥ متر) .
- فتحة التكييف بالغرفة مُركب عليها شبكة يبلغ انحدار الضغط (P) عبرها (٠.٣٢ ملمتر ماء) .
- الامتصاص الكلى (A) للطاقة الصوتية بالغرفة يساوى ١٨ سابين مترى .

والمطلوب حساب مستوى الصوت الارتدادى داخل الغرفة :

- (أ) نتيجة الضوضاء " المتسللة " من خارج المبنى الى داخل الغرفة عبر وحيدة التكييف : (نتيجة الضوضاء من خارج المبنى (L_p)) .

(ب) نتيجة الضوضاء المتولدة من تشغيل وحدة التكيف :

$$\bullet [(L_R) \text{ نتيجة تشغيل وحدة التكيف}]$$

(ج) نتيجة الضوضاء المتولدة عبر شبكة فتحة التكيف :

$$\bullet [(L_R) \text{ من الشبكة}]$$

(د) نتيجة تواجد هذه الضوضاء مجتمعة مع بعضها داخل الغرفة :

$$\bullet [(L_R)_{tot}]$$

الحل :

(أ) لحساب [نتيجة الضوضاء من خارج المبنى (L_R)] نطبق —————
المعادلة (٦-١٧) :

$$\text{نتيجة الضوضاء } (L_R) \text{ من خارج المبنى} = L_1 - R + 10 \log S - 10 \log A + 6 \quad (٦-١٧)$$

حيث :

$$L_1 = \text{مستوى الضوضاء خارج المبنى عند بداية القناة} = ٨٣ \text{ ديسيبل ،}$$

$$R = \text{الخففى الكلى لمستوى الصوت أثناء مرور الضوضاء عبر وحدة التكيف}$$

وهو يساوى الخفض الناتج من المرور فى الانحنائين (مجموعهم)
نفترض انه ١٠ ديسيبل (مضافا اليه الخفض الناتج اثناء مرور الضوضاء
خلال التجويفات الثلاثة بقناة التكيف $[(R)_{duct}]$
وهذه عبارة عن (بالاستعانة بمعادلة :

$$(R)_{duct} = (6.8) \left[\frac{(0.72)^{1.4} \cdot (2.4)}{0.35} \right]$$

$$= (6.8) \cdot (4.33) = 29.5 \quad \text{dB}$$

$$\therefore R = 10 + 29.5 = 39.5 \quad \text{dB}$$

$$S = \text{المساحة الكلية لمقطع القناة} = ١٠.٥ \text{ متر}^2$$

$$A = \text{الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية داخل الغرفة} = ١٨ \text{ سابين مترى}$$

$$\therefore (L_p)_{نتيجة الضوضاء من خارج المبنى} = 83 - 39.5 + 10 \log (1.05)$$

$$- 10 \log (18) + 6$$

$$= 37.2 \quad \text{dB}$$

(ب) لحساب [نتيجة تشغيل وحدة التكيف (L_R)] علينا أولاً

ايجاد مستوى الضوضاء الكلية الصادرة من المروحة [عند المروحة (L_T)]
نتيجة تشغيل وحدة التكيف وهذا يتم بتطبيق المعادلة :

$$(L_T) \text{ عند المروحة} = 97 + 10 \log (H.P.) -$$

$$- 10 \log (108 \text{ S})$$

$$= 97 + 10 \log (22) -$$

$$- 10 \log (10.8 \times 1.05)$$

$$= 97 + 13.7 - 10.55 = 99.9 \text{ dB}$$

ومن هذه الضوضاء الكلية التي مستواها (99.9 dB) علينا ايجاد

الجزء المقابل للتردد ٥٠٠ هيرتز كما جاء برأس المسألة . وبالرجوع إلى الشكلين

(٦ - ٣) نجد انه علينا طرح ما قيمته ١٦ ديسيبل لنحمل على قيمة .

مستوى الضوضاء المقابلة للتردد ٥٠٠ هيرتز [عند المروحة (L_{500})] :

$$\therefore (L_{500}) \text{ عند المروحة} = 99.9 - 16 = 83.9 \text{ dB}$$

وبتعيين عند المروحة (L_{500}) نحسب [نتيجة تشغيل وحدة (L_R)]
التكيف

من المعادلة (١٧-٦) مرة أخرى :

$$\begin{aligned}(L_r) \text{ نتيجة تشغيل وحدة التكيف} &= (L_{500}) \text{ عند المروحة} - R + 10 \log S \\ &- 10 \log A + 6 \\ &= 83.9 - 39.5 + 10 \log (1.05) \\ &- 10 \log (18) + 6 \\ &= 37.7 \quad \text{dB}\end{aligned}$$

(د) هنا أيضا لحساب $[(L_r) \text{ من الشبكة}]$ علينا أولا إيجاد مستوى الضوضاء الكلية المتولدة عبر الشبكة $[(L_T) \text{ من الشبكة}]$. ولهذا الغرض نطبق المعادلة :

$$\begin{aligned}(L_T) \text{ من الشبكة} &= L_1 + 10 \log S - 10 \log A \\ &+ 10 \log (P/25) \\ &= 83 + 10 \log (1.05) - 10 \log (18) \\ &+ 10 \log (0.32/25) \\ &= 51.7 \quad \text{dB}\end{aligned}$$

ولاحصول على مستوى الضوضاء [من الشبكة (L_{500})] المقابل للتردد
٥٠٠ هيرتز نطرح ٢٥ ديسيبل كما يدلنا على ذلك الجدول التالي :

جدول (٥-٦)

عدد الديسيبل الواجب طرحها (DBS) من مستوى الضوضاء الاجمالية
للخريط الترددي كله الصادرة من شبكة التهوية تبعا للتردد
لينتج المستوى المقابل له

التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
DBS (ديسيبل)	٣٤	٣٤	٣٢	٢٥	١٩	١٤	٦	٢

$$\therefore (L_{500}) \text{ من الشبكة} = 51.7 - 25 = 26.7 \text{ dB}$$

(د) مستوى الصوت الارتدادى الاجمالى الناتج عن الضوضاء الخارجية وضوضاء
تشغيل وحدة التكيف وضوضاء شبكة التهوية [(L_p)_{tot.}] نحصل
عليه بتطبيق اسلوب جمع الديسيبل الذى طبقناه عدة مرات . وفى هـ

المسألة يؤدي اليه

$$(L_r)_{tot} = \{37.2\} + \{37.7\} + \{26.7\}$$

$$= 40.6 = 41 \quad \text{dB}$$

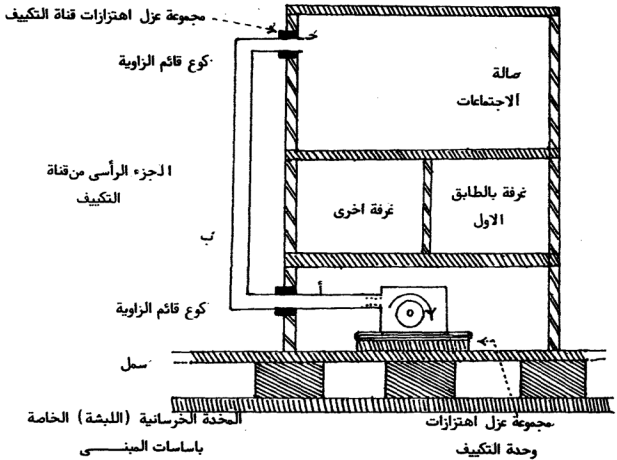
مثال (٥-٦) :

وحدة تكييف تم تركيبها بالطابق تحت الارضى بمبنى ادارى لخدمة غرفة كبيسوة
للاجتماعات بالطابق الثانى تبعا للمواصفات التالية :

(أ) المروحة من النوع الذى يعمل باسلوب الطرد المركزى بمستويات قدرة (L_w)
(بالنسبة لقدرة واحد بيكو وات) كالتالى :

٨٠٠٠	٤٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٣	التردد (هيرتز)
٥٣	٥٧	٦٢	٦٥	٦٨	٧٩	٧٦	٧٧	L_w (ديسيبل)

(ب) القناة الرئيسية تبدأ من فوهة المروحة (راجع شكل (٦ - ١١)) باتساع (٤٨ سم × ٦٠ سم) ومبطنة بمادة غير قابلة للاحتراق بحيث ان الخفض عبر كل متر منها كان (٠.٦٦ ديسيل) للتردد (٦٣ ، ١٢٥ هيرتز) ، بينما قيمة (٠.٤٥ ديسيل) عند التردد ٢٥٠ هيرتز، أما لبقية المدى للترددى فكان الخفض بقيمة (٠.٣ ديسيل لكل متر) . والجزء أ منها يتجه افقياً



شكل (٦ - ١١)

بطول ٦ر متر وينتهي بكوع قائم الزاوية اتساعه (٦٠ سم) يخرج منه الجزء ب
من القناة الرئيسية متجها رأسيا بطول ١١ر متر وفي نهايته كوع قائم الزاوية
باتساع ٦٠ سم ايضا ويتفرع منه افقيا الجزء ح باتساع (٣٠ سم x ٣٠ سم)
منتهيا بفتحة التهوية بأحد جدران صالة الاجتماعات بالدور الثانى من المبنى
وكان بطول ١٥٠ سم . وتبعد عن السقف مسافة ١١٠ سم .

والمطلوب معرفة ما اذا كانت مستويات الضوضاء الناتجة عن هذه المجموعــــــــــــــــة
تتفق مع (NC-30) أم لا .

الحل :

نبدأ بحساب الخفض الناتج عبر اجزاء القناة أ ، ب ، ح بين فوهة العروضة
وفتحة التهوية ولهذا الغرض نطبق خطوات ماثلة لما أجريناه فى المثال السابق .
والجدول التالى يلخص جميع النتائج الخاصة بالمثال الحالى :

التردد	٦٢	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
L_w	٧٧	٧٦	٧٩	٦٨	٦٥	٦٢	٥٧	٥٣
الخففى عبر أو ب و ح	١١٧	١١٧	٨٨	٥٩	٥٩	٥٩	٥٩	٥٩
الخففى عبر الكوعين	صفر	٢	٨	٨	٦	٦	٦	٦
الخففى نتيجة التفريع	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨	٨
الخففى نتيجة الانعكاس عند فتحة التهوية	٦	٣	١	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
مجموع الخففى	٢٦	٢٥	٢٦	٢٢	٢٠	٢٠	٢٠	٢٠
مستوى قدرة الصوت عند فتحة التهوية	٥١	٥١	٥٣	٤٤	٤٥	٤٢	٣٧	٣٣
مستوى ضغط الصوت (بطرح ٨ ديسيبل)	٤٣	٤٣	٤٥	٣٦	٣٧	٣٤	٢٩	٢٥

وبمقارنة هذه النتائج بمنحنيات " شرط عدم تجاوز مستويات الضوضاء " نجد
أنها تتفق مع المنحنى (NC-30)

مثال (٦-٦) :

• قاعة محاضرات مصممة كما هو مبين بالرسم التوضيحي بشكل (٦-١٢) ومفترض ان لديها المواصفات التالية :

الحجم الكلى = ١٢٨٥ متر^٣

عدد المقاعد (خشبية بدون تنجيد) = ٤٨٠

• حجم الحيز الذى يشغله كل مقعد = ٠.٢ متر^٣

مجموع مساحتى الجدار الامامى والجدار الخلفى (مغطاه بالكامل بالواح خشبية دون

فواصل بينها) = ١٢٢٤ متر^٢

مجموع مساحتى الجدار الايمن والجدار الايسر (نصف هذه المساحة عبارة عن شبابيك

زجاجية سك الواحها ٠.٦ سم - وبقيّة المساحة مغطاه ايضا بالواح خشبية)

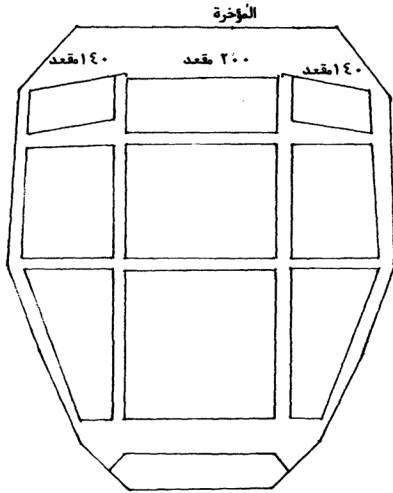
= ١٥٠٤ متر^٢

نسبة شغل المقاعد بالحاضرين = ٤/٣

مساحة الارضية = مساحة السقف = ٣٥٧ متر^٢

سطح الارضية بلاط مغطى بمشمع سميك - بينما السقف مبطن بطبقة مصبى ومعامل

الامتصاص للجزيئات المختلفة هي كالتالى :



نموذج لقاعة المحاضرات الذي يتسم بشكل
" شبه البيضة "

التردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠
لطبقة البلاط	٠.١٥	٠.٠٣	٠.٠٥	٠.١٢	٠.١٠
لطبقة المصبي	٠.٢٥	٠.٢٠	٠.١٥	٠.٠٥	٠.٠٤
لالواح الزجاج ٦ مم	٠.١٠	٠.١٠	٠.٠٤	٠.٠٣	٠.٠٢
لالواح الخشب	٠.٤٠	٠.٢٥	٠.١٥	٠.١٢	٠.١٠

ويخدم هذه القاعدة وحدة تكيف لها المواصفات التالية :

أ - المروحة الخاصة بها ذات مستويات قدرة صوتية على مدى الشريط التردد

كما يلي :

التردد	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠	٨٠٠٠
مستوى قدرة الصوت للمروحة	٨٠	٧٩	٨٢	٧١	٦٨	٦٥	٦٠	٥٦

ب - القناة الرئيسية بطول اجمالي ١٨ متر بين فوهة المروحة وفتحة التكييف المثبتة.

بمركز سقف القاعدة (هذه الفتحة تبعد مسافة ١٥ سم منه) .

ح - مساحة مقطع القناة الرئيسية - وهي غير مبطنه عند اى جزء منها - ٥٠ متر

x ٠٦٠ متر .

د - القناة تشتمل على ثلاث انحناءات كل منها قائم الزاوية ويتميز بأن مستوى الصوت

ينخفض بمقدار ٤ ديسيبل نتيجة المرور بحره - وذلك عند كل تردد على مدى

الشريط الترددي بأكمله .

وال المطلوب :

اولا : حساب زمن الارتداد الخاضع لهذه القاعدة تحت هذه الظروف المفترضة تواجدها .

ثانيا : حساب مستوى الضوضاء داخل القاعة نتيجة تشغيل وحدة التكييف ومقارنته
بمستويات الضوضاء التي تقابل المنحنى (NC-30)

الحل :

اولا : الخطوات والنتائج الخاصة بحساب زمن الارتداد بالقاعة نلخصها فى الجدول
التالى (بالنسبة للمدى (١٢٥ هيرتز - ٢٠٠٠ هيرتز) تبعاً للبيانات
المعطاه) :

الكمية الفيزيائية	التردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠
		٧,٥٢	٧,٥٢	٣,٠٤	٢,٣٠	١,٥٠
الامتصاص الناتج من الجزء الزجاجي من الجدارين الايمن والايسر "سابين" متري "						
الامتصاص الناتج من الجزء الخشبي من الجدارين الايمن والايسر "سابين متري"		٣٠,١٠	١٨,٨٠	١١,٣٠	٩,٠٠	٧,٥٢
الامتصاص الناتج من الجدارين الامامي والخلفي "سابين متري"		٤٩,٤٠	٣٠,٦٠	١٨,٤٠	١٤,٧٠	١٢,٢٠
الامتصاص الناتج من سقف القاعة "سابين متري"		٨٩,٢٥	٧١,٤٠	٥٣,٥٥	١٧,٨٥	١٤,٢٨
الامتصاص الناتج عن ارضية القاعة "سابين متري"		٥,٣٦	١٠,٧١	١٧,٨٥	٤٢,٨٤	٣٥,٧٠
الامتصاص الناتج عن المقاعد المشغولة "سابين متري"		٤٦	٤٦	٩٢	٩٢	١٠٩
الامتصاص الناتج عن المقاعد الغير مشغولة "سابين متري"		٠,٩٦	١,٢٠	١,٨٠	٢,١٦	٢,٤٠

الكمية الفيزيائية	التردد	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠
الامتصاص الناتج عن هواء الغرفة "سابين مترى"	-	-	-	-	-	٩,٠٠
الامتصاص الكلى للطاقة الصوتية داخل الغرفة (A) " سابين مترى "	٢٢٨,٦	١٨٦,٢	١٩٧,٩	١٨٠,٩	١٩١,٦	
زمن الارتداد داخل الغرفة عند كل تردد (T _r) ثانية	٠,٩١	١,١٠	١,٠٥	١,١٤	١,٠٨	
$= \frac{0.161 \times \text{حجم الغرفة}}{\text{الامتصاص الكلى}}$						

ثانياً : بالنسبة لحساب مستوى الضوضاء داخل قاعة المحاضرات نتيجة تشغيل وحدة

التكييف المجهزة لخدمتها فإنه باتباع الذى استخدم لحل مثال (٦ - ٥)

نلاحظ أن :

٨٠٠٠	٤٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٣	التردد (هيرتز)
٥٦	٦٠	٦٥	٦٨	٧١	٨٢	٧٩	٨٠	مستوى قدرة الصوت عند فوهة المروحة (ديسيل)
٣	٣	٣	٣	٣	٦	١٢	١٢	الخففى الناتج من مرور عبر القناة الرئيسية (ديسيل)
٩	٩	٩	٩	١٢	١٢	٣	٣	الخففى الناتج من عبور الصوت خلال الثلاث انحناءات (ديسيل)
صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	١	٣	٦	الخففى نتيجة انعكاس الصوت عند فتحة التكيف (ديسيل)

٨٠٠٠	٤٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٢	التردد (هيرتز)
٤٤	٤٨	٥٢	٥٦	٥٦	٦٢	٦١	٥٩	مستوى "قدرة الصوت" عند فتحة التكييف (ديسيل)
٣٦	٤٠	٤٥	٤٨	٤٨	٥٥	٥٢	٥١	مستوى الضوضاء عند فتحة التكييف (ونذلك بطرح ٨ ديسيل من مستوى قدرة الصوت عند فتحة التكييف)
٣٩	٤٣	٤٨	٥١	٥١	٥٨	٥٦	٥٤	مستوى الضوضاء عند فتحة التكييف مع أخذ قربها من سقف القاعة فى الاعتبار (باضافة ٣ ديسيل)

٨٠٠٠	٤٠٠٠	٢٠٠٠	١٠٠٠	٥٠٠	٢٥٠	١٢٥	٦٢	التردد (هيرتز)
٢٧	٢٨	٢٩	٣١	٣٥	٤١	٤٨	٥٧	المستويات التي تقابل (NC-30)
١٢	١٥	١٩	٢٠	١٦	١٧	٨	صفر	الزيادة في خفى مستوى الضوضاء اللازم الحصول عليها لتتفق مع شرط (NC-30)

وهذا يمكن تحقيقه بتبطين قناة التكيف أو تزويدها بوحدة تخفيفي للمصوت -

دون ان نغير فى قيمة الامتصاص الكلى (A) داخل القاعة حتى لا يحدث تغير فى قيم

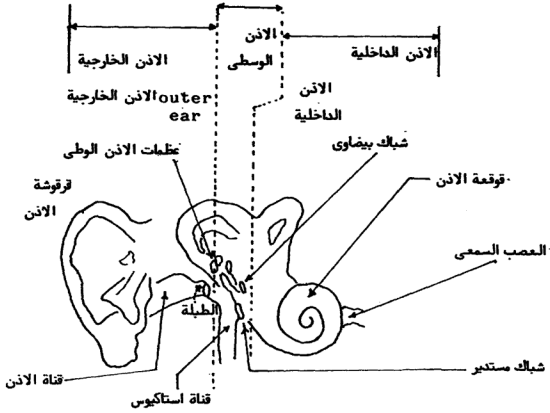
زمن الارتداد . T₆₀

بسم الله الرحمن الرحيم

الباب السابع

موجز لبعض نتائج المشاهدات التي اوضحت الآثار الجانبية
للمرضاء على صحة السمع

اثناء الدراسة التي تسبق المرحلة الجامعية يتم بشيء من التفصيل توضيح وظائف الاجزاء الثلاثة الرئيسية التي تتكون منها الأذن : الأذن الخارجية - الأذن الوسطى - الأذن الداخلية - وشكل (١-٧) عبارة عن رسم مبسط لتوضيح هذه الاجزاء . كما ان هذه الدراسة اوضحت انه عند سقوط الموجات الصوتية على الأذن الخارجية تنتج حركة اهتزازية لغشاء طبلة الأذن . وبالتالي يتم نقل هذه الحركة عبر المطرقة التي تكونها عظيمات الأذن الوسطى الى المدخل البيضاوى للالأذن الداخلية فيبدأ السائل المائي الذي يحويه تجويقها بنقلها وعن طريق قوقعه الأذن تصل هذه الاهتزازات الى الياف العصب السمعي ومنه الى المراكز السمعية بالمخ . ولوحظ ان استجابة القوقعة تعتمد على التنبيهات التي يعثرها تبعاً لتردد تلك الاهتزازات .



الأجزاء الرئيسية التى تتتركب منها الأذن

شكل (١-٢)

ومن فضل الله سبحانه وتعالى ان وهب لخلقه اذنين اثنتين ثبت بالقياسات المعملية انهما معا قادرتان على التعرف على اصوات مستواها اقل بحوالى ٣ ديسيبل عن قدرة اى منهما بمفردها •

فى الباب الثانى آلمحنا الى أن المقصود بما يسمى " عتبة الاحساس بوجود صوت ما " أو " عتبة السمع " عبارة عن اقل مستوى لضغط الصوت الذى يستطيع ان يُثير حاسة السمع •

هذه العتبة وجد بالتجربة انها تعتمد على عوامل عديدة أهمها :

- تردد الصوت •
- اسلوب استقبال المستمع لهذا الصوت : هل هو عن طريق سماعات اذن — مكبر صوتى — شخى يتحدث له مباشرة ... الخ •
- نقطة استقبال الصوت •
- الضوضاء الخلفية المتواجدة فى المجال المحيط بالمستمع •

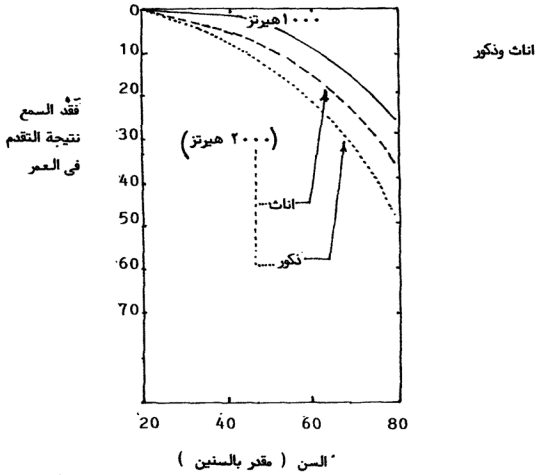
واذا اعتبرت عتبة السمع لشخص عادى عمره ٢٥ سنة كقياس عيارى على مدى العمر وجد انه يحدث ازاحة عنها مع التقدم فى السن • فعلى سبيل المثال : عند تردد ٢٠٠ هيرتز اذا كانت عتبة السمع ١٤ ديسيبل بينما شخى تجرى لــــه اختبارات قدرة السمع لا يستطيع سماع هذه النغمة الا اذا كان مستواها ٢٦ ديسيبل يقال ان هذا الشخص من " فَقْدَ سَمْع " — عند تردد ٢٠٠ هيرتز —

مقداره ٦٢ ديسيبل • مثال آخر - عند تردد ١٠٠٠ هيرتز - اذا كان محتاج رفع مستوى الصوت الى ٤٩ ديسيبل حتى يستطيع سماع هذه النغمة فانه بالمقارنة لعتبة السمع ٤ ديسيبل عند هذا التردد يقال ان هذا الشخص يعاني من " فقد سمع " قفزه ٤٥ ديسيبل •

ويوضح شكل (٢-٧) المعدل المتوسط لفقد السمع للجنسين نتيجة التقدم في العمر حيث يتضح أيضا ان الرجال اكثر من النساء في فقد حساسية السمع تدريجيا مع التقدم في العمر •

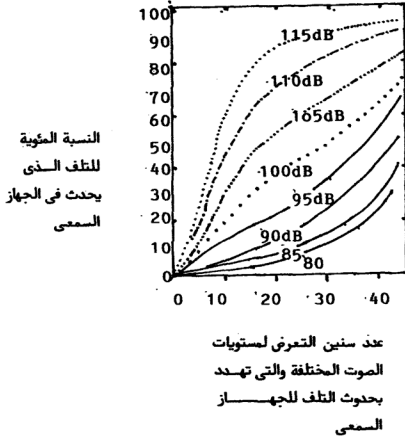
وكما اشرنا قبل ذلك يمكن اعتبار هذه الظاهرة احد التغيرات الفسيولوجية التي تحدث كنتيجة طبيعية للتقدم في العمر بشرط ان الشخص يتجنب التعرض لمستويات عالية من الاصوات • لان مثل هذا التعرض ينتج عنه تهديد بفقد القدرة على السمع وذلك بنسب متفاوتة تعتمد على مستوى الضوضاء بالطبع كما يتضح من شكلي (٢ - ٧) •

اما اذا كانت الظروف المتواجد فيها المستمعون تعرضه لاستقبال ضوضاء عالية المستوى بمعنى انها تتعدى المستويات المسموح بها - كدالة للتردد - والموضحة في جدول (١-٧) •



تغير القدرة على السمع مع التقدم في السن

شكل (٢-٧)



تهديد الضوضاء بتلف القدرة على السمع
قبل سنوات التعرض لهذه الضوضاء

شكل (٢-٢)

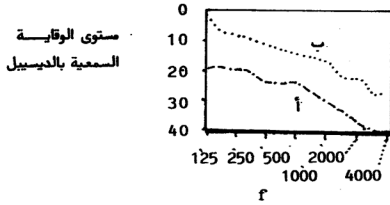
التردد (هيرتز)	٦٣	١٢٥	٢٥٠	٥٠٠	١٠٠٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠
المستوى الذى يجب عدم تجاوزه (ديسيبل)	٩٧	٩٣	٩٠	٨٥	٨٥	٨٠	٨٠

فيجب عندئذ أن يتم حماية الأذنين بواسطة أحد الوسائل التالية :

- وضع سدادات داخل القناة السمعية - على أن تكون محكمة وتلائم مع طبيعة القناة السمعية إذ أنها تتفاوت كثيرا من شخص لآخر • ويوضح شكل (٤-٧) الفرق فى مستوى كفاءة الأبناء بين استخدام سدادات موضوعة باحكام عن ما اذا وضعت بدون اعتناء •

- وضع مخدات صغيرة على الأذنين • وهنا أيضا يراعى حقيقة الفرق فى الأبناء اذا تم وضعها دون لبس نظارة أو مع لبس النظارة • وهذا موضح بشكل (٥-٧) •

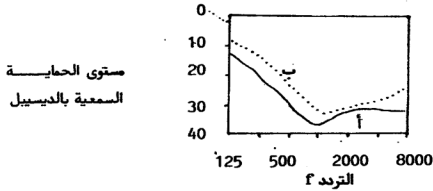
- لبس خوذة كاملة على الرأس ومغطية الأذنين تماما •



الحماية للأذن بوضع سداده في القناة السمعية

- أ • موضوعة باحكام وبالمقاس المضبوط .
ب • موضوعة بدون اعتناء واى مقاس .

شكل (٤٧)



مستوى الحماية للأذن من وضع مخدات صغيرة عليها

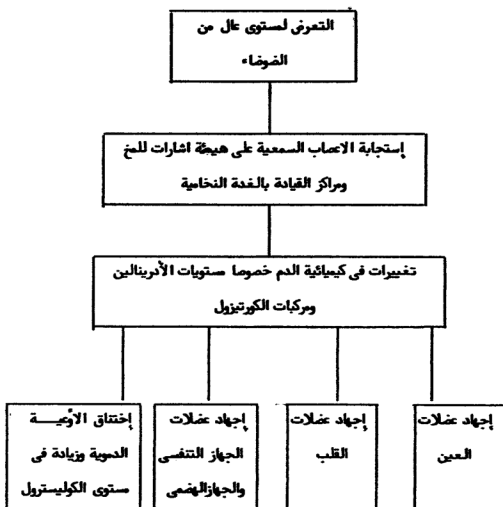
- أ • بوضعها دون لبس نظارة .
ب • مع لبس نظارة .

شكل (٥٧)

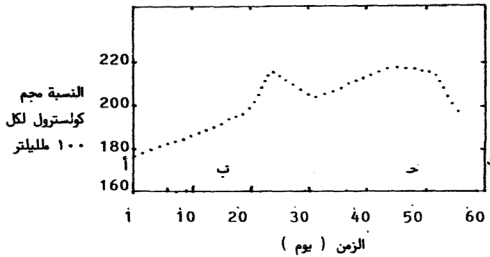
ولقد لوحظ انه بجانب الذى يمكن ان يحدث مباشرة وبصورة ملموسة لجهاز السمع نتيجة التعرض للضوضاء هناك آثار جانبية أخرى عديدة على مختلف اجزاء الجسم ولكن الصعوبة فى تحليلها علميا هو ضرورة فصلها عن الآثار الجانبية التى قد تنجم فى نفس الوقت من مؤثرات أخرى مثل التدخين وتلوث البيئة . . . الخ . فعلى سبيل المثال فى احد التجارب لدراسة تلك الآثار الجانبية للتعرض للضوضاء تم مقارنة مجموعتين من العاملين (كل مجموعة ٨٠٠ عامل) فى احد المصانع الحربية إحداها تشغل فى مجال مستوى الضوضاء به (٩٥ ديسيبل) والاخرى تشغل فى مجال مستوى الضوضاء به (٨٠ ديسيبل) فأتضح مايلى :

- المجموعة (٩٥) تعرضت لكثير من المشاكل المرضية وتعدد الغياب عن العمل . كما تعرضت لكثير من الحوادث فى العمل . وذلك بصورة ملحوظة تماما عن المجموعة (٨٠) .
- آلام فى الصدر ومتاعب فى التنفس وجهازه عموما .
- حساسية غير عادية مع شكاوى فى اداء الدورة الدموية والقلب وآلام فى المفاصل والجهاز الهضمي .
- ضيق فى مجال الرؤية والقدرة على تمييز الالوان .

والخريطة التالية لتتابع التأثيرات الضارة للتعرض للمستويات العالية من الضوضاء تلخص احد التفسيرات العلمية لما يحدث بالجسم نتيجة هذا التعرض :



ومن المشاهدات التجريبية التي تساعد على تبني هذا التصور النماذج الموضحة
بأشكال (٦-٧) و (٧-٧) و (٨-٧) و (٩-٧) و (١٠-٧) و (١١-٧) ،
ليعنى القياسات المعطية تحت ظروف مدروسة بالنسبة للموضاء والهدوء :

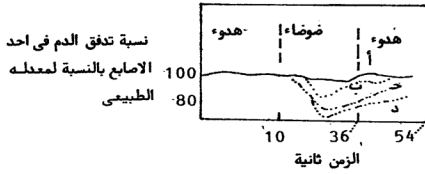


متوسط مستوى الكوليسترول قبل واثاء وبعد التعرض

لمستويات ٨٠ و ٨٥ و ٩٠ ديسيل

- الفترة أ ب : قبل التعرض لأى وضاء
- الفترة ب ج : اثناء التعرض للموضاء بمستوياتها الثلاث ؛
على التتابع (١٠ ايام فترات متتابعة) .
- الفترة ج د : فترة راحة .

شكل (٦-٧)



أ ٥٤ ديسيل

ب ٧٤ ديسيل

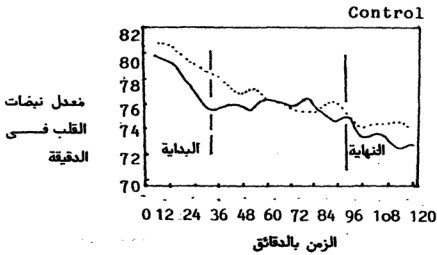
ج ٩٤ ديسيل

د ١٠٢ ديسيل

التغير في الدورة الدموية لسطح الجلد

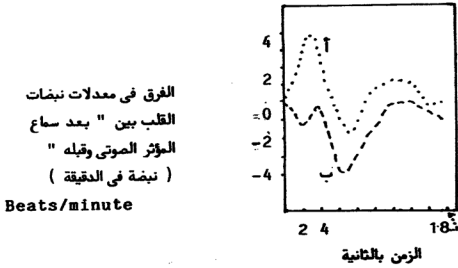
نتيجة التعرض للضوضاء

شكل (٧-٧)



تأثير التعرض لضوء لمدة ساعة في اليوم بعد فترة راحة
لمدة ساعتين • على معدل نبضات القلب
ومقارنة ذلك بالمعدل الخام بأشخاص لم يتعرضوا لأي ضوء.

شكل (٨٧)



متوسط التغير في معدل ضربات القلب (نبضات في الدقيقة) بالنسبة

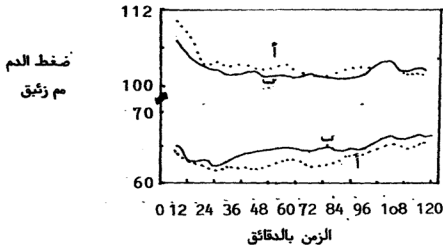
لما كان عليه قبل التعرض للمؤثر الصوتي

مقاسا بعد فترات متساوية " واحد ثانية " من بدء مثير صوتي

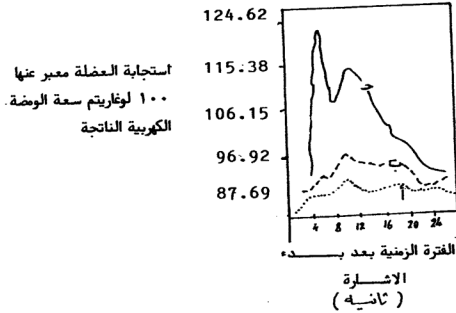
(أ) اصدر صوت متسع المدى الترددي او :

(ب) بتردد ١٠٠٠ هيرتز لمدة ٥ ثوات مستوى ضغط ٨٥ ديسيبل .

شكل (٩-٢)



تأثير التعرض لضوضاء لمدة ساعة في اليوم بعد فترة راحة لمدة ساعتين
على مستوى ضغط الدم (الانبساطى والانقباضى) ومقارنة ذلك بالمستويات
الخاصة بأشخاص لم يتعرضوا لأي ضوضاء
١ (أشخاص تعرضوا للتجربة) - ٢ (أشخاص عاديون للمقارنة : ٢٧)
شكل (٢-١٠)



(أ ٧٠ ديسيل) - (ب ٩٠ ديسيل) - (ح ١٢٠ ديسيل)

منحنيات توضح استجابة عضلة الذراع الايسر لنفخة (١٠٠٠ هيرتز)

عند ثلاث مستويات مختلفة

شكل (١١-٢)

تم بحمد الله سبحانه وتعالى

عبد الرحمن فكرى

السبت ١٢ ربيع أول ١٤١٥

٢٠ أغسطس ١٩٩٤

قائمة باسماء المراجع الرئيسية التي استفاد منها المؤلف
في اعداد الكتاب الحالي

1. Acoustical Society of American Standards
"Test-Site Measurement of Maximum Noise
emitted
by Engine-Powered Equipment" 1975
2. ASHREA (American Society of Heating,
Refrigerating and Air-Conditioning
Engineers) Handbook and Products
Directory, Fundamentals Volume. 1975
3. Ibid, Systems Volume 1976
4. ASHREA GUIDE. 1988
5. P. BAADE, "Noise Control Engineering" 1976
6. L, BERANEK (ed.), "Noise Reduction" 1960

7. W. BURNS, "Noise and Man" 1973
8. C. HARRIS and C. CREDE (ed.),
"Shock and Vibration Handbook" 1976
9. A.R. FIKRY HASSAN, "Waves and
Vibrations" 1967
10. F. INGERSLEV, "Acoustics in Modern
Building Practice". 1962
11. K. KNUDSEN and C. HARRIS,
"Architectural Acoustics" 1965
12. P. PARKIND and H. HUMPHREYS,
"Acoustics, Noise, and Buildings" 1980
13. P. PARKIN, H. PURKIS, and
W. SCHOLLES,
"Field Measurement of Sound
Insulation between Dwellings". 1960

14. E. SOKOLOV,
"Perception and the Conditioned
Reflex". 1963
15. E. THOMSON,
"Theory of Vibrations" 1975
16. M. WHITECOMB (ed.),
"Physiological Effects of NOISE" 1975

تفصيل (١)

ملخص لبعض المشاكل الصوتية واقتراحات

بغرض حلها

المشكلة	احتمالات بالاسباب	اقتراح بالحل
١ - المكان مليء بالضوضاء لدرجة ان الشخصى لا يستطيع سماعه حديثه لنفسه	أ مستويات عالية من الصوت الارتدادى	أ زيادة الامتصاص
	ب زيادة فى نفاذية الضوضاء من خارج المبنى الى داخله	ب زيادة فى عزل الضوضاء
	ج زيادة فى الاهتزازات المنقلة عبر الهيكل البنائى	ج عزل الاهتزازات
	د وجود انحناءات غير مناسبة فى جدران واسقف المكان تؤدى الى تركيزه	د ازالة السبب

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحل
٢- الصوت مستواه في مؤخرة الحيز منخفض للغاية	أ الحيز كبير لدرجة أكثر من اللازم ب الشكل الهندسي للحيز غير سليم ج نقص في المسطحات العاكسة للصوت د توزيع غير منتظم (ضعيف) او امتصاص كثير للطاقة الصوتية	أ استخدام مكبرات الصوت ب تغيير في شكل الحيز ج اضافة المزيد منها د الغاء الامتصاص من على المسطحات وجعلها أكثر كفاءة لعكس الصوت
٣- وجود اماكن "مراء" في الغرفة	أ ضعف في توزيع الطاقة الصوتية ب شكل هندسي غير مناسب (غير صحيح خاطيء) ج وجود مدى للصوت	أ استخدام مسطحات عاكسة ب اضع سبب تجميع الطاقة المنعكسة ج غير في شكل الغرفة

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحل
٤- الصوت (الضوضاء) أ مندفعة مباشرة خلال جدران الغرفة	أ تسرب خلال شقوق او ثقب ب نفاذ الصوت ج اهتزازات د الغرفة المستقبلة لهذه الضوضاء هائلة جدا ه وضع الغرفة سيء	الغاء السبب اعزل الصوت عزل الاهتزازات اعمل شوشرة اعد توزيع الغرفة توزيعا سليما
٥- يمكن بسهولة سماع ضوضاء الماكينات وخطى السكان (خطوات الاقلام) فى الدور العلوى	أ اهتزازات ب نفاذ الصوت ج وضع الغرفة سيء	عزل الاهتزازات عزل الصوت اعد توزيع الغرف توزيعا سليما .

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحلل
٦- الضوضاء الخارجية مزعجة للغاية	- وضع الغرفة سيء - تسرب الصوت خلال شقوق او شروخ نفاذ الصوت	اختيار موقع سكنى مناسب الغاء الشقوق عزل الصوت
٧- الموسيقى والاحاديث غير واضحة	- زيادة فى ارتداد الصوت	زيادة الامتصاص
٨- الاصوات الخافتة Distracting بدرجة كبيرة	- مستوى الخلفية الصوتية بالغرفة منخفضة للغاية - الغرفة الامتصاص بها كبير (غرفة صماء)	اعمل شوشرة اضبط (ضبط) زمن ارتداد الغرفة

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحل
٩- هناك مدى للصوت - انعكاسات متتالية للصوت مزج للغاية - تجمع للصوت	تغير شكل الغرفة الفناء اسباب تجميع الصوت ضبط امتصاص الصوت	زيادة في ارتداد الصوت
١٠- يمكن سماع اى شىء حتى من خلال جدران الغرفة	١- الغرفة صماء ٢- الخلفية الصوتية ذات مستوى منخفض جدا ٣- تجميع او انعكاس للصوت	ضبط زمن الارتداد توليد شوشرة صوتية مناسبة الفناء تجميع او انعكاس للصوت
١١- الصوت المسموع داخل الغرفة غير طبيعي	١- فلاتر ٢- تشويه للصوت نتيجة عدم ضبط مجموعة الاجهزة الصوتية	تغير شكل الغرفة مع ضبط الامتصاص للطاقة الصوتية ضبط اجهزة الصوت

المشكلة	احتمالات الاسباب	اقتراح بالحل
	<ul style="list-style-type: none"> - امتصاص نوعي - الخرفة صماء - زمن ارتداد 	ضبط الامتصاص
١٢- يشعر المرء ان المكان "اوبرسيف"	<ul style="list-style-type: none"> - زمن الارتداد منخفض - الخلفية الصوتية منخفضة جدا . 	ضبط كمية الامتصاص استخدام خلفية للشوشرة

تفصيل (٢)

مستويات الضوضاء التي تصدر من المركبات على اختلاف انواعها
وبعض الآلات

نوعية المركبة	المستوى "ديسيل"
عربات نقل حمولة ٤٥ طن	٨٤ - ٨٨
عربات السباق	٧٥
سيارات ركوب خاصة	٦٩
عربات نصف نقل	٧٢
موتوسيكلات	٨٢ - ٨٥
اتوبيسات	٧٣ - ٨٢
عربة خلاط اسمنت	٨٥
بلدوزر	٨٧

آلات

المستوى	نوعية الآلة
٨١	ضاغط هواء
٨٨	آلة حفر
٧٦	مولد كهربى
٩٨	حفار صخر
٧٦	مضخة تفريغ (مفرغة هواء)

تنفيذ (٣)

متوسط الخفض (على مدى التردد (١٢٥ - ٢٠٠٠ هيرتز)

بين حيزين نتيجة وجود نوعية الحاجز الموضحة

الخفض (ديسيبل)	نوعية الحاجز
٥٠ ٤٥	أرضية خرسانية عالية الكثافة والملاية - كثرة وحدة المساحات ٢٢٠ كجم / متر ^٢ أرضية خشبية سبك ٢,٢ سم
٥٥ ٥٠ ٥٠ ٥٠ ٤٥	جدار مبني بالطوب او الحجارة بسبك ٤٥ سم ومغطى بالمونة جدار مبني بالطوب او الحجارة بسبك ٢٢ سم ومغطى بالمونة جدار خرساني بسبك ٣٠ سم جدار مركب من حائطين خرسانيين كل حائط منهما سمك ٧,٥ سم وبينهما تجويف بسبك ٧,٥ سم جدار مبني بالطوب سبك ١١ سم او جدار خرساني سبك ١٥ سم او جدارين بسبك ٥ سم بينهما ٢,٥ سم هواء

نوعية الحاجز	الخفشن (ديسيل)
جدار خرساني سمك ٢,٥ سم مغطى بالمونة من الجهتين	٤٠
باب من النوعية التي تسمى " قفل صوت " ويتكون من بابين خطيئهما الوسطيين مزاحين عن بعضهما ٠ وكل منهما بسمك ٥ سم مصنوع من الخشب الصلب واى شروخ بهما معالجة تماما باب من الخشب الصلب بسمك ٥ سم ومحكم تقفيل جوانبه باب مكون من طبقتين من الابلالكش كل طبقة سمك ٠,٣ سم وبينهما تجويف ٥ سم	٤٥ ٣٠ ٢٠
شباك مركب من لوحين زجاجيين كل منهما بسمك ٠,٧ سم وبينهما تجويف ٢٠ سم شباك زجاجى سمك ٠,٧ سم شباك زجاجى سمك ٠,٣ سم	٤٠ ٣٠ ٢٥

تم بحمد الله سبحانه وتعالى

عبدالرحمن قارى

١٣ ربيع أول ١٤١٥

٢٠ اغسطس ١٩٩٤

رقم الايداع بدار الكتب المصرية

١٩٩٤/١٠٧٣

دولسى

977- 00- 7636- 8

دار الكتب للطباعة والأوفست

إلى حسن الحكيم

٤١ شارع ستاد - مدينة الجيزة - ١٢١٢٢

Biblioteca Alexandrina



0225141

المكتبة العامة الأوقاف
إلى
الملك محمد السادس
الملك محمد السادس